Alfr. Lehmann

Grundzüge der Psychophysiologie


22102162725

L. W. G. Malcolm

Grundzüge
der
Psychophysiologie

Eine Darstellung der normalen,
generellen und individuellen
Psychologie

Von

Alfr. Lehmann

Direktor des psychophysischen Laboratoriums und Professor
der Psychologie an der Universität Kopenhagen



Leipzig
O. R. Reisland
1912

Altenburg, S.-A.
Piererscho Hofbuchdruckerei
Stephan Geibel & Co.

Vorrede.

Die experimentelle psychologische Forschung hat seit 1860 eine unübersichtliche Menge Tatsachen ans Licht gefördert. Unsere psychologische Einsicht hat aber damit keineswegs gleichen Schritt gehalten, weil die Tatsachen sich nicht verwerten lassen. Mehrere Umstände tragen hierzu bei. Auf allen biologischen Gebieten, insbesondere auf dem psychologischen, sind die Verhältnisse immer so verwickelt, die Erscheinungen von so vielen Bedingungen abhängig, daß es fast unmöglich wird, all die Bedingungen anzugeben, unter welchen ein Versuch angestellt, eine Beobachtung gemacht worden ist. Wird aber ein dem Anscheine nach ganz unwesentlicher Umstand außer acht gelassen, kann die Vernachlässigung dieses Umstandes bei der Wiederholung des Versuches zu einem ganz anderen Ergebnis führen. Die Beobachtungen verschiedener Forscher widersprechen sich daher nicht selten. Selbst aber in solchen Fällen, wo die Hauptbedingungen genügend klargelegt sind, um widerspruchsfreie Resultate zu ermöglichen, können die dargelegten Gesetze kaum einheitlich geordnet, in ein System eingefügt werden. Eine systematische Ordnung gegebener Tatsachen läßt sich nämlich nur von einem theoretischen Gesichtspunkte aus durchführen; es fehlt uns aber eben eine solche Theorie.

Die Physik im weiteren Sinne hat ihre bedeutenden Fortschritte im letzten Jahrhundert zum Teil dem Umstande zu verdanken, daß die theoretische Auffassung der Materie, die Atomtheorie, imstande war, alle gefundenen Tatsachen von wenigen hypothetischen Annahmen aus zu erklären und je an ihrer Stelle in das große systematische Gebau einzufügen. Eine entsprechende Seelentheorie gibt es nicht. Die sogenannten „Seelentheorien“ haben nur abstrakt metaphysische, keine

psychologische Bedeutung, weil sie keine Angaben von den Eigenschaften und Kräften der Seele und deren quantitativen Beziehungen zu den Nervenprozessen enthalten, wodurch die empirisch festgestellten Gesetze sich erklären lassen. Die Psychologie kann daher die Tatsachen nur beschreiben, und die Ordnung derselben muß eine mehr oder weniger zufällige sein. Das Bedürfnis einer Theorie ist aber so groß, daß die alte Lehre von den Seelenvermögen tatsächlich bei vielen Forschern, die theoretisch entschieden von derselben Abstand genommen haben, noch versteckt spukt. Man stellt sich die Seele als einen einzelligen Organismus, mit verschiedenen Organen (den Vermögen) ausgestattet, vor und erreicht durch dies Anschauungsbild jedenfalls die Grundlage einer Systematisierung, selbst wenn man nicht, wie die Vulgärpsychologie, glaubt, die Erklärung einer Erscheinung gegeben zu haben, indem man der Seele das Vermögen zuschreibt, solche Erscheinungen hervorzubringen.

Bis jetzt gibt es nur die Andeutung einer Theorie, die der Darstellung einer erklärenden Psychologie zugrunde gelegt werden kann, nämlich die energetische, die ich schon 1901 im zweiten Teil meines „Körperliche Äußerungen psychischer Zustände“ skizzierte. Die Theorie besagt, daß die psychischen Erscheinungen an eine besondere Energieform gebunden seien, die bei Umwandlung der chemischen Energie des Zentralnervensystems entstehe und übrigens den allgemeinen Energiegesetzen unterworfen sei. Diese Theorie erfüllt vollends die Forderungen, die an eine psychologische Seelentheorie zu stellen sind, indem die psychologischen Gesetze einfach dadurch erklärt werden können, daß der Nachweis geführt wird, wie sie nur Spezialfälle der allgemeinen Energiegesetze sind. Die zahlreichen Untersuchungen, die im letzten Dezennium in meinem Laboratorium ausgeführt worden sind, haben meinen Glauben an die Fruchtbarkeit dieser Theorie nur stärken können, und vorläufig wenigstens gibt es meines Wissens keine andere Grundlage als die energetische, worauf sich eine Theorie analoger Tragweite bauen läßt. Ich habe sie daher der vorliegenden Arbeit zugrunde gelegt, um ihre Bedeutung auf allen einzelnen Gebieten zu prüfen; die Schwächen einer Theorie zeigt sich nämlich nur bei der konsequenten Durch-

führung. Ich bezweifle natürlich nicht, daß meine Darstellung in vielen Punkten nicht das Richtige getroffen hat, und daß mithin zahlreiche Irrtümer zu berichtigen sein werden. Besonders leiden die mathematischen Entwicklungen, wodurch ich es versucht habe, die psychophysiologischen Konsequenzen der Energetik zu ziehen, selbstverständlich fast überall an dem Fehler, daß sie eine sehr komplizierte Wirklichkeit ungebührlich vereinfachen. Um aber Perturbationen in Rechnung ziehen zu können, muß man sie erst kennen, was wiederum erfordert, daß die Hauptgesetze bekannt sind, die die Erscheinungen befolgen würden, wenn keine Störungen vorkämen. Die entwickelten Formeln sind daher nur der notwendige Anfang einer exakteren Behandlung, die der Zukunft vorbehalten sein muß. Die Theorie kann aber durch die unvermeidlichen Unvollkommenheiten eines ersten Versuches nur wenig beeinträchtigt werden und scheint mir selbst in dieser Form nicht wenig zu leisten.

Als einfache Konsequenz der theoretischen Grundlage geht eine neue Ordnung des Stoffes hervor, indem die verwandten, auf analogen Vorgängen beruhenden Erscheinungen zusammengestellt sind, wodurch die üblichen Rahmen der Psychologie — wenn überhaupt von solchen die Rede sein kann — gebrochen werden. Diese Ordnung hat zwar die Unannehmlichkeit, daß der Leser sich anfangs schwieriger zurechtfindet; ein recht ausführliches Sachregister und zahlreiche Hinweisungen im Texte werden wohl größtenteils dem Übel abhelfen. Da das theoretische Band indes überall die Einzelheiten verbindet, muß die Darstellung dennoch schließlich übersichtlicher sein.

In einem Buche wie dem vorliegenden, dessen wesentlichste Aufgabe ist, eine Theorie der möglichst eingehenden Prüfung zu unterziehen, können geschichtliche Darstellungen und kritische Auseinandersetzungen keinen Raum finden. Ich habe daher auch die Literaturangaben sehr beschränkt und hauptsächlich auf solche Sammeldarstellungen hingewiesen, wo umfassendere Literaturverzeichnisse zu finden sind. Nur auf den Gebieten, wo solche Darstellungen nicht vorliegen und ich selbst das Material gesammelt und bearbeitet habe, kommen detaillierte Hinweisungen vor.

Meine Arbeit ist übrigens kein einfaches Referat der von

anderen Forschern angestellten Versuche und Beobachtungen. Im Laufe der Jahre habe ich selbst Gelegenheit gehabt, fast alle einigermaßen leicht auszuführenden psychologischen Versuche anzustellen, so daß ich möglichst genau habe angeben können, unter welchen Bedingungen die angeführten Resultate zu erzielen sind. Ferner habe ich bei diesen Versuchen ein großes Material von Selbstbeobachtungen gesammelt, das von nicht geringerer Bedeutung als die direkten experimentellen Ergebnisse ist. Dem Leser, der sich mit der Theorie nicht befreunden kann, wird hoffentlich die Fülle der neuen Tatsachen einen Ersatz für die Mühe des Lesens leisten.

Kopenhagen, im Juni 1912.

Alfr. Lehmann.

Inhaltsverzeichnis.

I. Die Gesichtsempfindungen.

II. Die Gehörsempfindungen.

III. Die Geruchs- und Geschmacksempfindungen.

IV. Die Hautempfindungen.

V. Die Organempfindungen.

B. Die Gefühle.

Drittes Buch.

Die Psychodynamik.

A. Psychodynamische Vorgänge.

I. Hemmungen und Bahnungen in der Netzhaut.

V. Der Wille.

Einleitung.

Erstes Kapitel.

Abgrenzung der Psychologie.

Die Psychologie ist die wissenschaftliche Lehre von den Bewußtseinserscheinungen. Wenn diese Worte richtig verstanden werden, ist die Definition völlig scharf, weder zu weit noch zu eng. Erläutern wir sie daher etwas näher.

Die Bewußtseinserscheinungen sind uns als unmittelbare Erlebnisse gegeben. Empfindungen, Vorstellungen, Gedanken, Gefühle, Wünsche, Entschlüsse usw. sind Beispiele solcher Erlebnisse, die jedermann bekannt sind. Die erwähnten sowie alle übrigen im Bewußtsein zu beobachtenden Erscheinungen, die wir auch als *seelische* oder *psychische* Phänomene bezeichnen, sind die Objekte der Psychologie.

Die Psychologie als wissenschaftliche Lehre von den genannten Objekten hat drei verschiedene Aufgaben zu lösen: 1. die Beschreibung der beobachteten Erscheinungen; 2. die Feststellung der gesetzmäßigen Beziehungen, die diese Erscheinungen einerseits zueinander und andererseits zu andern damit in Verbindung stehenden Erscheinungen aufweisen; 3. die Erklärung dieser Beziehungen, indem sie, soweit es zu gegebener Zeit möglich ist, auf allgemeinere, umfassendere Gesetze zurückgeführt werden.

Die Lösung der ersten dieser Aufgaben ist eine unvermeidliche Vorstufe der zweiten; die Erscheinungen müssen zuvörderst so genau beschrieben werden, daß Verwechslung unmöglich ist, ehe eine nähere Untersuchung ihrer Beziehungen sich überhaupt durchführen läßt. Die zweite, in praktischer Hinsicht wichtigste Aufgabe führt uns bald zu der Erkenntnis, daß die psychischen Erscheinungen nicht nur voneinander und von äußeren physischen Vorgängen, sondern auch von etwas

kaum näher Bestimmbarem abhängig sind, das zwar denselben Gesetzen wie die Bewußtseinserscheinungen zu unterliegen scheint, sich aber im Bewußtsein nicht nachweisen läßt. Man nennt es daher das *Unbewußte* oder *Unterbewußte* (subliminale). Die Beziehungen der psychischen Erscheinungen zu diesem unbekannten Unbewußten sind selbstverständlich auch festzustellen, und eine Untersuchung derselben ist also durch unsere Definition der Psychologie nicht ausgeschlossen.

Wie die Definition sich mithin, recht verstanden, genügend weit erweist, ist sie auch hinreichend eng. Tatsächlich ist uns alles, auch die physische Welt, nur als Bewußtseinserscheinungen gegeben, und man hat daraus gefolgert, daß sämtliche Wissenschaften nur verschiedene Zweige der Psychologie wären. Dieser Schluß ist entschieden unrichtig. Mit demselben Rechte könnte fast behauptet werden, daß alle Wissenschaften nur Grammatik seien, weil sie alle unvermeidlich mit Wörtern operieren. Die Verwechslung, deren man sich durch eine solche Behauptung schuldig machen würde, liegt aber klar zutage. Die Grammatik handelt von den Wörtern und den Wortverbindungen; in allen anderen Wissenschaften dagegen sind die Worte nur Symbole, die benutzt werden müssen, um von etwas ganz anderem zu handeln. Das Verhältnis zwischen der Psychologie und den übrigen Wissenschaften ist, wie leicht ersichtlich, ein analoges. Die Psychologie handelt von den Bewußtseinserscheinungen, die der eigentliche Gegenstand der Psychologie sind; in fast allen andern Wissenschaften sind die Bewußtseinserscheinungen dagegen nur Symbole von etwas, das vom Bewußtsein unabhängig ist. Der Psychologe untersucht die psychischen Erscheinungen als solche; der Physiker — im weitesten Sinne — fragt nur nach den Gesetzen der vom Bewußtsein unabhängigen Ursachen dieser Erscheinungen. Wie der Psychologe muß der Physiker zwar von Bewußtseinserscheinungen ausgehen, und er operiert fortwährend mit denselben; sein Ziel ist aber, ins reine zu bringen, wie die Ursachen der Bewußtseinserscheinungen sich unabhängig vom auffassenden Bewußtsein verhalten. Besonders bei den exakten physikalischen Messungen ersieht man leicht, daß die psychischen Erscheinungen nur die Rolle der Symbole spielen. Der Physiker, der z. B. eine Temperatur mißt, bezieht sich dabei gar nicht auf seine Wärmeempfindungen, sondern schätzt nur die Lage einer Quecksilberoberfläche im Verhältnis zu den Teilstrichen eines Maßstabes. Die entscheidende

Bewußtseinserscheinung ist also ein Augenmaß; der Physiker will ja aber im betreffenden Falle gar nicht das Augenmaß untersuchen, er wünscht nur etwas von der Ursache einer möglichen Wärmeempfindung festzustellen. Die psychische Erscheinung ist also eben nur ein Symbol, nicht der Gegenstand der Untersuchung. Indem die Psychologie als die Lehre von den Bewußtseinserscheinungen bestimmt wird, sind also dadurch tatsächlich die meisten übrigen Wissenschaften ausgeschlossen, weil sie von etwas anderem handeln.

Nur unter einer Bedingung würde die Behauptung, alle Wissenschaft sei Psychologie, einen Sinn haben, nämlich wenn Ich und meine psychischen Zustände das einzige in der Welt Existierende wären. Dann gäbe es auch außerhalb dieses Ich keine Ursachen seiner Bewußtseinserscheinungen, und jede Wissenschaft würde dann nur eine besondere Gruppe seiner psychischen Zustände behandeln können. Ob jemals eine solche Auffassung konsequent festgehalten worden ist, mag dahingestellt bleiben; soviel leuchtet ein, daß Wissenschaft überhaupt unter der erwähnten Bedingung unmöglich sein würde. Gäbe es nämlich in der ganzen Welt nichts außer meinem Ich, so müßte dieses Ich ein gesetzloses, tolles Ich sein, und es würde sich vergeblich damit bemühen, Gesetze irgend welcher seiner Bewußtseinserscheinungen aufzusuchen. Wenn das Ich z. B. heute so wie hundertmal früher unter ganz bestimmten Bedingungen ein bestimmtes Haus und morgen unter ganz den nämlichen Bedingungen ein verbranntes Haus sieht, so erklärt sich diese Tatsache einfach und widerspruchslos durch die Annahme, daß eine äußere Ursache der Erscheinung „Haus" sich in der Zwischenzeit verändert habe. Wer dies nicht annehmen will, muß zugeben, daß sein Ich unter ganz denselben Bedingungen bald eine und bald andere Erscheinungen hervorbringt, ohne daß überhaupt Ursachen eines solchen Wechsels der Tätigkeit vorliegen. Da das Kausalgesetz mithin für die Bewußtseinserscheinungen dieses Ich keine Gültigkeit haben kann, wird Wissenschaft überhaupt unmöglich.

Unsere Definition der Psychologie grenzt also diese Wissenschaft von den übrigen mit genügender Schärfe ab, womit jedoch nicht behauptet werden soll, daß hier und dort Zweifel nicht entstehen könne. Im Gegenteil; da alle Abgrenzungen nur aus praktischen Rücksichten unternommen werden und scharfe Grenzen in der Natur nicht vorkommen, ist es unvermeidlich, daß mehrere Wissenschaften zum Teil denselben Stoff behandeln. So läßt sich z. B. eine bestimmte Grenze zwischen Psychologie und Physiologie kaum ziehen. Die Physiologie der Sinnesorgane und die Psychologie der Empfindungen behandeln denselben Gegenstand von nur wenig verschiedenen Gesichtspunkten aus. Ebenso verschwommen sind die Grenzen zwischen der Psychologie einerseits und

Kulturgeschichte, Sprach- und Religionswissenschaft, Ästhetik und Ethik andererseits. Alle diese Wissenschaften handeln von Bewußtseinserscheinungen und ihren Äußerungen; während aber die erwähnten speziellen Wissenschaften, je auf ihrem Gebiete, die Detailforschung durchführen, behandelt die Völkerpsychologie denselben Stoff von allgemeineren Gesichtspunkten aus.

Zweites Kapitel.

Einteilung der Psychologie.

Da Bewußtseinserscheinungen nicht nur beim Menschen vorkommen, sondern aller Wahrscheinlichkeit nach jedenfalls auch bei den höheren Tieren anzunehmen sind, teilt sich die Psychologie natürlich in die beiden Hauptzweige: die *Psychologie des Menschen* und die *Tierpsychologie*. Die erstere ist aber wiederum so umfassend, daß man die *Völkerpsychologie*, die Lehre von den psychischen Erscheinungen der Gesellschaft, von der *Individualpsychologie*, der Lehre von den Bewußtseinserscheinungen des Individuums, trennt. Die Individualpsychologie teilt sich ferner in zwei Hauptzweige: die *Psychophysiologie*, die Lehre von den normalen psychischen Erscheinungen, und die *Psychopathologie*, die Lehre von den Störungen des Bewußtseins. Dieser letztere Teil behandelt fast denselben Stoff wie die Psychiatrie; in der Psychiatrie liegt das Hauptgewicht nur auf der Beschreibung der Krankheitsformen und der Behandlung der Kranken, während die Psychopathologie hauptsächlich die Modifikationen berücksichtigt, denen die für das normale Bewußtsein geltenden Gesetze in den verschiedenen Krankheitsformen unterliegen. Die Psychophysiologie kann schließlich in die *Psychologie des Kindes*, oder die Lehre von der Entwicklung des Bewußtseins, und die *Lehre von dem entwickelten Bewußtsein* geteilt werden. In der letzteren kann man teils eine *generelle*, teils eine *individuelle* Richtung einschlagen, je nachdem das Gewicht auf die allen normalen Menschen gemeinsamen Erscheinungen oder auf die individuellen Differenzen gelegt wird. In einer einigermaßen vollständigen Darstellung des entwickelten Bewußtseins müssen aber beide Richtungen berücksichtigt werden, weil sonst einfach ein falsches Bild der Tatsachen resultieren würde.

Im folgenden sollen die innerhalb der Grenzen des Normalen liegenden individuellen Differenzen, soweit möglich, in Betracht gezogen werden, während die Entwicklung des kindlichen Bewußtseins nur dann berücksichtigt wird, wo es sich als unerläßlich erweist. Den innerhalb dieser Rahmen zu behandelnden Stoff teilen wir in vier Abschnitte. Das erste Buch handelt von den *Bewußtseinserscheinungen im allgemeinen* und den physikalischen und physiologischen Verhältnissen, von welchen sie abhängig sind. Das zweite Buch, die *Psychophysik*, behandelt die einfachen psychischen Phänomene und ihre Beziehungen zu den äußeren Reizen. Im dritten Buch, der *Psychodynamik*, wird von den gegenseitigen Beziehungen der psychischen Erscheinungen die Rede. Das vierte Buch schließlich stellt *die psychischen Komplexe* dar, die aus diesen gegenseitigen Beziehungen hervorgehen.

Drittes Kapitel.

Die Methode der Psychologie.

Da die Bewußtseinserscheinungen nicht wie äußere Objekte wahrgenommen, sondern nur innerlich erlebt werden können, gibt es tatsächlich nur e i n e Methode zur Erforschung dieses Gebietes, nämlich die der Selbstbeobachtung. Die Methode leidet indes, solange sie nicht auf eine ganz bestimmte Weise systematisch betrieben wird, an zahlreichen schwerwiegenden Übelständen; ihre Ergebnisse sind daher keineswegs so zuverlässig, wie nach dem unmittelbaren Verhältnis des Beobachters zum Gegenstand seiner Beobachtung zu erwarten stand. Erstens kann die Selbstbeobachtung uns nur über die psychischen Erlebnisse des einzelnen Beobachters belehren, und folglich müssen die Beobachtungen zahlreicher Individuen verglichen werden, damit das allgemein Gültige aus den verschiedenen individuellen Eigentümlichkeiten ausgeschieden werden kann. Zweitens wird das Material, die zur Verfügung stehenden Tatsachen, dadurch beschränkt, daß der Beobachter seine Erfahrungen nur gelegentlich, unter gegebenen äußeren oder inneren Umständen, ernten kann; und die zu vergleichenden Erfahrungen sind keineswegs immer unter denselben Umständen zustande gekommen, so daß ihre Vergleichbarkeit zweifelhaft wird. Drittens kann die Selbstbeobachtung nur die gegenseitigen Beziehungen der seelischen Erscheinungen nachweisen,

während sowohl ihre Abhängigkeit von äußeren Reizen als die physischen Begleiterscheinungen der seelischen Erlebnisse sich schwerlich konstatieren lassen. Viertens schließlich sind die zu beobachtenden Bewußtseinserscheinungen manchmal so kompliziert, daß die einzelnen Glieder derselben nicht festzuhalten sind; in der hieraus resultierenden lückenhaften Beschreibung können somit sehr wesentliche Umstände vergessen sein.

Daß die Hindernisse, die die erwähnten Schwierigkeiten dem Fortschritte der Wissenschaft in den Weg legen, keineswegs gering sind, geht aus der Tatsache hervor, daß fast überall, wo es auf die Beobachtung feinerer Einzelheiten ankommt, Ansicht gegen Ansicht steht. Was der eine Psychologe behauptet, unmittelbar beobachten zu können, kann der andere schlechterdings nicht konstatieren; was dem einen als Regel erscheint, kennt der andere nur als seltene Ausnahme[1]). Solche Widersprüche können zwar manchmal auf individuellen Unterschieden beruhen, manchmal lassen sie sich aber viel leichter dadurch erklären, daß der eine Psychologe ein guter, der andere ein schlechter Beobachter ist. Da wir aber leider kein Maß der Fähigkeit des Selbstbeobachtens besitzen, können wir in jedem gegebenen Falle durchaus nicht entscheiden, ob durch die verschiedenen Angaben wirklich existierende individuelle Differenzen konstatiert seien, oder ob vielleicht die eine Beobachtung richtig, die andere falsch sei. Hieraus folgt dann, daß feinere Einzelheiten des seelischen Geschehens durch einfache Selbstbeobachtung nicht bestimmt werden können; nur die gröberen Züge lassen sich auf diese Weise feststellen. Die Geschichte bezeugt die Richtigkeit dieser Behauptung; die Psychologie war tatsächlich über die sozusagen handgreiflichsten Allgemeinheiten nicht hinausgekommen, solange sie auf die einfache Selbstbeobachtung hingewiesen war.

Fast alle erwähnten Übelstände können durch Anwendung des Experimentes bei den psychologischen Untersuchungen vermieden werden. Wenn man die zu untersuchenden Bewußtseinserscheinungen durch äußere Reize willkürlich herbeiführt, so kann sich eine größere Anzahl Personen an dem

---

[1]) Titchener: Lectures on the elementary psychology of feeling and attention. New York 1908. Durch die Zusammenstellung widersprechender Erklärungen von zahlreichen Psychologen über bestimmte Fragen gibt der Verfasser ein charakteristisches, aber wenig ermunterndes Bild von der Zuverlässigkeit der psychologischen „Beobachtung“.

Versuche gleichzeitig beteiligen, und es wird dadurch möglich, das allgemein Gültige aus den verschiedenen individuellen Beobachtungen abzuleiten. Ferner wird es möglich, das Erfahrungsmaterial fast ins Unbegrenzte zu vermehren und durch Kontrollversuche zu erhärten, indem die Versuche — zwar nicht immer, aber in den meisten Fällen — sich beliebig oft wiederholen lassen. Hierzu kommt noch, daß die Selbstbeobachtung durch die willkürliche Erregung eines bestimmten Zustandes sehr erleichtert wird. Es handelt sich nämlich dann nicht um die Beschreibung eines oft äußerst komplizierten Bewußtseinszustandes, sondern nur um die Angabe der Veränderung des Zustandes, die vom Reize verursacht wird. Diese Vereinfachung der dem Beobachter gestellten Aufgabe ermöglicht die Heranziehung von ungeübten Versuchspersonen, denen die zu untersuchende Frage unbekannt ist. Dies ist von größter Bedeutung in allen solchen Fällen, wo die Beobachtungen leicht getrübt werden können, wenn die Versuchspersonen von theoretischen Vorurteilen befangen sind. Schließlich ergibt sich aus dem Experimente unmittelbar die Abhängigkeit bestimmter psychischer Erlebnisse von bekannten äußeren Reizen, und durch Anwendung zweckmäßiger Apparate können ebenfalls die physischen Begleiterscheinungen der seelischen Zustände festgestellt werden. Nur mittels des Experimentes läßt sich die zweite Aufgabe der Psychologie, die Feststellung der gesetzmäßigen Beziehungen, einigermaßen vollständig lösen.

Es ist hieraus ersichtlich, daß *das Experiment die Selbstbeobachtung durchaus nicht durch etwas anderes ersetzt*, es erleichtert nur die Beobachtung, so daß der Beobachter die gestellten Fragen mit größerer Sicherheit beantworten kann.

Die Anwendung des Experimentes hat indes noch weitreichendere Folgen, indem sie wirkliche Gesetze, quantitative Beziehungen festzustellen erlaubt. Dies kann erreicht werden, wenn man bei einem Versuche z. B. die Reizgrößen variiert und mißt. Von einer Messung psychischer Quantitäten ist hierbei gar keine Rede: *eine psychische Erscheinung läßt sich unzweifelhaft direkt nicht messen. Was gemessen werden kann und gemessen worden ist, sind nur die physischen Reizgrößen oder die Begleiterscheinungen der erregten psychischen Zustände.* Stellt man aber fest, z. B. welche Reizgrößen erforderlich sind, um unter bestimmten, ebenfalls meßbaren Bedingungen einen ganz bestimmten psychischen Zustand hervorzurufen, so ergibt sich

hieraus ein Gesetz für die Entstehung der betreffenden Bewußtseinserscheinung.

Einige Beispiele können die Sache erläutern. Bei Messung der Unterschiedsempfindlichkeit (U-E) mißt man gar nichts Psychisches. Bestimmt wird nur das Verhältnis der Reizgrößen, das unter gewissen Bedingungen, z. B. bei verschiedenen absoluten Werten der Reize, erforderlich ist, um einen ganz bestimmten psychischen Zustand, nämlich die Ebenmerklichkeit eines Empfindungsunterschiedes, herbeizuführen. Aus solchen Messungen läßt sich dann eine Formel ableiten, die das Verhältnis der Reize als Funktion der absoluten Reizgröße darstellt. — Bei quantitativer Bestimmung der Komplementärfarben mißt man die physischen Komponenten der Farbenmischung, die eine bestimmte Weißempfindung hervorrufen. — Bei Assoziationsmessungen bestimmt man z. B., wie viele Glieder einer einmal erlernten Silbenreihe zu verschiedenen späteren Zeiten noch richtig angegeben werden können. Gemessen oder gezählt wird also hier nur die Anzahl Silben, die einem bestimmten psychischen Zustand entspricht, und mittels solcher Messungen kann man eine Formel aufstellen, die die Anzahl der behaltenen Silben als Funktion der seit dem Erlernen verflossenen Zeit angibt usw.

Da Messungen der erwähnten Art, die nur physische Größen betreffen und folglich in Gewicht-, Raum- und Zeitmaß ausgedrückt werden können, keine hypothetischen Annahmen voraussetzen, werden sie auch von den Forschern angestellt — oder wenigstens als zulässig angesehen — die sonst die Meßbarkeit psychischer Erscheinungen in Abrede stellen [1]). *Hierdurch sind aber tatsächlich Maßbestimmungen der betreffenden psychischen Erscheinungen eingeführt* und quantitative Gesetze ermöglicht. Wenn man nämlich die physischen Größen mißt, die unter verschiedenen Verhältnissen einen bestimmten psychischen Zustand herbeiführen, so ist schon damit vorausgesetzt, daß dieser psychische Zustand von den physischen Größen abhängig, eine Funktion derselben ist; dann läßt er sich aber auch durch irgend eine Funktion derselben messen.

Werden z. B. die Reizgrößen gemessen, die einen eben merklichen Empfindungsunterschied zustande bringen, so hat dies nur einen Sinn unter der erfahrungsmäßig gegebenen Voraussetzung, daß der Empfindungsunterschied eine Funktion der die Empfindungen erregenden Reize ist. Nimmt man dann als Maß der U-E das Verhältnis der Reize, und haben die Messungen ergeben, daß dieses Verhältnis eine Funktion der absoluten Reizgrößen ist, so ist die Gleichung, die die Funktion darstellt, einfach ein Gesetz der U-E. Die Gleichung gibt nämlich an, wie die U-E, gemessen durch das Verhältnis der Reize, sich mit den absoluten Reizgrößen verändert.

[1]) I. v. Kries: Zur Psychologie der Sinne. Nagels Handbuch d. Physiol. 3. Bd. S. 23.

Analoges gilt in andern Fällen. Bestimmt man die Anzahl der behaltenen Glieder einer vorher erlernten Silbenreihe, so geht man dabei von der Erfahrung aus, daß man um so mehr Glieder angeben kann, je fester die Reihe noch im Gedächtnis haftet. Stellt man dann willkürlich fest, daß man die Festigkeit der Assoziation durch die Anzahl der behaltenen Glieder messen will, so wird die Formel, die die Veränderung dieser Anzahl als Funktion der seit dem Erlernen verflossenen Zeit angibt, ein Gesetz des Vergessens.

Ein solches Meßverfahren ist in allen exakten Wissenschaften üblich. Wenn der Physiker eine Temperatur mißt, so bestimmt er gar nicht direkt den Wärmezustand des Körpers, er mißt nur die Länge einer Quecksilbersäule, die erfahrungsmäßig vom Wärmezustand abhängig ist, und geht dann von der zum Teil willkürlichen Voraussetzung aus, daß gleichgroße Verlängerungen der Quecksilbersäule gleichgroßen Temperaturveränderungen entsprechen. Da die Zulässigkeit solcher indirekten Messungen in der Physik keinem Zweifel unterliegen kann, läßt sich ihre Anwendung in der Psychologie wohl kaum mit Recht beanstanden. Dies hat denn auch nicht stattgefunden; was man dann und wann in Abrede gestellt hat, ist nur die Zulässigkeit der für die Empfindungsstärken angewandten Maßbestimmungen, die unter zweifelhaften Voraussetzungen von anderen Maßbestimmungen abgeleitet worden sind. Hierauf bezieht sich tatsächlich die Kritik von Kries, G. Lipps[1]) u. a. Auf diese ganz spezielle Frage können wir hier nicht näher eingehen; für das Problem der Meßbarkeit psychischer Erscheinungen hat sie keine prinzipielle Bedeutung, und die Beantwortung derselben kann daher bis auf weiteres ausgesetzt werden (Kap. 67).

Die Maßmethoden, die bei den verschiedenen psychologischen Problemen anzuwenden sind, brauchen wir hier nicht zu erörtern. Die Darstellung der Methoden und der ferneren Behandlung der gewonnenen Zahlen, um aus denselben die Gesetze der untersuchten Erscheinungen abzuleiten, bildet den Gegenstand der psychologischen Methodik. Da diese zunächst ein Teil der allgemeinen Beobachtungslehre ist, der nur seinen speziellen Stoff der Psychologie entnimmt, gehört sie gar nicht zur Psychologie, und wer sich mit der Methodik beschäftigen will, muß jedenfalls einen Überblick über die psychologischen Probleme erreicht haben. Ich habe deshalb die Methodik vollständig von der Psychologie getrennt und

---

[1]) G. F. Lipps: Die psychischen Maßmethoden. Braunschweig 1906.

sie in einem besonderen Buche dargestellt, auf welches ich hier verweisen kann[1]).

Es gibt indes auch Gebiete, wo das psychologische Experiment sich entweder vorläufig oder überhaupt nicht anwenden läßt. Die Komplikation der Erscheinungen setzt seiner Anwendbarkeit wahrscheinlich nur eine vorläufige Grenze, indem die Entwicklung der Psychologie in den letzten Jahren zeigt, wie immer mehr komplizierte Phänomene in den Kreis der experimentellen Untersuchungen hineingezogen werden können. Es ist jedenfalls eine offene Frage, ob es überhaupt Bewußtseinszustände gibt, die sich gar nicht auf irgend eine Weise experimentell hervorrufen lassen. Dagegen können natürlich sehr wohl Probleme sich erheben, deren Natur den Versuch ausschließt, z. B. die Frage, wie weit in die Kindheit Erinnerungen zurückreichen können. Ebenfalls kommt es vor, daß gewisse Erscheinungen ohne irgend eine Reizung, nur durch die willkürliche Lenkung der Aufmerksamkeit, zustande gebracht werden können, und dann wird man wohl auch auf das Experiment verzichten müssen. Den Mängeln der reinen Selbstbeobachtung sucht man in solchen Fällen dadurch abzuhelfen, daß man das möglichst große Material zuwegebringt; dasselbe kann entweder aus der Literatur geschöpft oder mittels Fragebogen eingesammelt werden. Da die im letzteren Falle gewonnenen Beantwortungen häufig von ungeschulten Beobachtern herrühren und mithin weniger zuverlässig sind, wird man sie im allgemeinen nur auf die Weise verwerten können, daß das Material einer statistischen Bearbeitung unterzogen wird.

Auf die Selbstbeobachtung muß man natürlich in allen solchen Fällen verzichten, wo die betreffende Person keine Mitteilung von ihren Bewußtseinszuständen geben kann. Die Erforschung des Seelenlebens der Geisteskranken wird schon hierdurch erschwert, daß viele Kranke sich nicht aussprechen wollen oder können, und wenn es sich um Säuglinge oder Tiere handelt, sind Selbstbeobachtungen und die Mitteilung ihrer Ergebnisse einfach ausgeschlossen. Es steht dann nur der Weg offen, aus den beobachteten, willkürlichen und unwillkürlichen Bewegungen auf die sich hierdurch äußernden Bewußtseinserscheinungen zu schließen. Eine solche Folgerung würde aber nur unter der Voraussetzung zuverlässig sein

---

[1]) Lehrbuch der psychologischen Methodik. Leipzig 1906.

können, daß einer gegebenen Bewegung stets ein bestimmter seelischer Zustand vorausginge, was in der Tat gar nicht zutrifft. Selbst komplizierte, zweckmäßige Bewegungen können sowohl unbewußt als bewußt zustande kommen, und wenn man auf das einer Bewegung zugrunde liegende Seelenleben schließt, läuft man stets Gefahr, entweder zu viel oder zu wenig anzunehmen, wobei allerlei Vorurteile natürlich ihren Einfluß geltend machen. Die Vulgärpsychologie sucht z. B., um die Kluft zwischen den Menschen und den Tieren, soweit möglich, auszutiefen, die Handlungen der höheren Tiere als einfache Instinktbewegungen aufzufassen, während zu den Bewegungen der Säuglinge gewöhnlich die Motive der Erwachsenen hinzugedacht werden. Das eine ist natürlich ebenso falsch wie das andere.

Um derartige Fehlschlüsse zu vermeiden, muß man möglichst genau beobachten und nicht nur die positiven, sondern ganz besonders die negativen Momente berücksichtigen. Haben nämlich gewisse Beobachtungen eine bestimmte seelische Erscheinung wahrscheinlich gemacht, so sind fast immer, als notwendige Konsequenz des mutmaßlichen Bewußtseinsphänomens, gewisse andere Bewegungen zu erwarten. Wenn diese aber nicht nachgewiesen werden können, ohne daß sich ihr Wegfallen durch besondere Umstände erklären läßt, kann die Annahme kaum richtig sein. Das Experiment kann zwar auch auf diesen Gebieten zahlreiche, unter beliebigen Verhältnissen angestellte Beobachtungen zuwegebringen; direkt kann es uns aber über das Seelenleben keine Aufschlüsse geben.

Erstes Buch.

Leib und Seele.

I. Die Bewußtseinserscheinungen.

Viertes Kapitel.

Allgemeine Charakterisierung.

Die psychischen Erscheinungen, wie sie sich der Selbstbeobachtung darbieten, kommen kaum je isoliert vor. Selbst wenn man unter den möglichst günstigen Bedingungen, indem alle fremden Reize ausgeschlossen sind, in der Beobachtung einer elementären Erscheinung, z. B. einer Farbenempfindung, aufgeht, können fast immer gleichzeitig andere Empfindungen nachgewiesen werden. Gewöhnlich treten die psychischen Erscheinungen massenhaft auf und bilden mehr oder weniger eng miteinander verbundene Gruppen. Zumeist sind sie auch in fortwährender Veränderung begriffen; einige Erscheinungen verschwinden einfach und machen anderen Platz, andere verändern sich allmählich. Dem Anschein nach sind solche Veränderungen oft kontinuierlich, stetig, indem die eine Erscheinung ohne Sprünge und Unterbrechungen in die andere übergeht (z. B. die Wahrnehmung der Lageveränderung eines schwingenden Pendels). Ob ein solcher allmählicher Übergang sich aber wirklich wahrnehmen läßt, ist indes äußerst zweifelhaft. Zahlreiche Erfahrungen deuten darauf hin, daß unsere Selbstbeobachtung über Veränderlichkeit oder Beharrlichkeit, über Kontinuität oder Diskontinuität der psychischen Erscheinungen gar nichts Sicheres zu entscheiden vermag. Wenn eine Veränderung von hinlänglicher Größe plötz-

lich eintritt, so kann sie zwar bemerkt werden; dagegen sind einerseits kontinuierliche Veränderungen der psychischen Erscheinungen oft gar nicht merklich, oder sie werden nur als verschiedene Stufen wahrgenommen, während andererseits sprungweise Variationen als stetige Veränderungen aufgefaßt werden können.

Betrachtet man eine hell beleuchtete weiße Fläche, z. B. ein Blatt Papier, so verändert sich die Empfindung während der ersten zehn Sekunden sehr bedeutend, was sich indes gar nicht unmittelbar beobachten, sondern nur beim Vergleich mit einem kurzdauernden Reize nachweisen läßt (Kap. 28). Die Veränderung ist aber so groß, daß sie sehr auffallen würde, wenn sie nicht allmählich, sondern sprungweise einträte. Hier wird also eine im Laufe der Zeit tatsächlich stattfindende Veränderung gar nicht bemerkt. In anderen Fällen können gleichzeitig gegebene, stetige Übergänge zwar bemerkt, aber nur nicht als kontinuierliche Variationen aufgefaßt werden. So bildet, wie bekannt, der Halbschatten einen gleichmäßigen Übergang vom Kernschatten zum vollständig beleuchteten Teil der Fläche. Selbst in einem breiten Halbschatten ist man aber nur imstande, zwei oder drei ziemlich scharf begrenzte Stufen zwischen Hell und Dunkel zu unterscheiden. Im Bewußtsein verwandelt sich also eine tatsächliche Kontinuität in eine Diskontinuität. In den Fällen schließlich, wo wir stetige Veränderungen zu beobachten meinen, z. B. bei den Lageveränderungen bewegter Körper, zeigen die bei der Herstellung kinematographischer Bilder geernteten Erfahrungen, daß wir durchaus nicht die unendlich vielen Lagen des bewegten Körpers wahrnehmen. Fünfzehn Bilder pro Sekunde genügen vollständig, um eine gleichmäßige Bewegung vorzutäuschen, und werden mehrere Bilder dem Auge dargeboten, sehen die Bewegungen unnatürlich weich und gleitend aus. Hieraus darf sicher gefolgert werden, daß wir von den sukzessiven Lagen eines bewegten Körpers kaum je mehr als fünfzehn verschiedene Stellungen pro Sekunde beobachten.

Alle diese Erfahrungen zeigen übereinstimmend, daß kontinuierliche Veränderungen der Außenwelt, wenn sie überhaupt bemerkt werden, im Bewußtsein stufenweise hervortreten, und selbst wenn wir stetige, gleichmäßige Veränderungen zu beobachten glauben, wird wahrscheinlich nur eine Reihe keineswegs sehr schnell wechselnder Bilder aufgefaßt. *Der Strom der sich stets verändernden Bewußtseinserscheinungen ist also durchaus kein kontinuierlicher*, er besteht vielmehr aus zahlreichen psychischen „Funken“, aus einer Art kinematographischer Bilder von größerer oder geringerer Dauer. Die Kontinuität der Bewußtseinserscheinungen, auf die in theoretischer Hinsicht großes Gewicht gelegt worden ist, wird somit sehr fraglich.

Die Bewußtseinserscheinungen stehen ferner nicht nur mit-

einander, sondern auch mit einem Subjekt in Verbindung, *indem alle psychischen Erscheinungen als Zustände eines Ich hervortreten.* Empfindungen, Vorstellungen, Gefühle, Gedanken usw. werden stets von einem Subjekt getragen. Dieses Subjekt oder Ich läßt sich jedoch nie als etwas Isoliertes, von seinen Zuständen Unabhängiges beobachten. Wie die Zustände nur mit dem Subjekt verbunden vorkommen, besteht das Ich nur durch seine Zustände. Denkt man sich sämtliche Bewußtseinserscheinungen des Ich ausgeschaltet, dann bleibt nichts übrig. Dessenungeachtet wird das Ich, im Gegensatz zu den wechselnden Zuständen, als etwas Dauerndes angesehen; es ist ein und dasselbe Ich, das im Laufe der Zeit all diese wechselnden Zustände hat. Das Ich wird daher gewöhnlich durch seine Beharrlichkeit und Identität charakterisiert[1]), oder es wird als eine Einheit aufgefaßt[2]). Von diesen Prädikaten kann indes nur die Beharrlichkeit eine nähere Prüfung bestehen.

Identisch können zwei Dinge nämlich nur dann genannt werden, wenn sie sich unter gegebenen Umständen genau gleich verhalten. Mein heutiges Ich und mein Ich vor 40 Jahren sind aber dermaßen verschieden, daß ihnen nicht viel mehr als der Name gemeinsam ist. Das Ich verhält sich genau so wie der Leib; alle beide verändern sich im Laufe der Zeit langsam und allmählich. Wie der Leib aber, trotz allen Veränderungen, dasselbe Individuum bleibt, so ist das Ich auch nicht mit sich selbst identisch, sondern dasselbe.

Nicht viel besser ist es um die Einheit bestellt. Das Ich eines normalen Menschen ist zwar eine Einheit, aber als Folge gewisser nervöser Störungen kann sich das Ich in zwei oder mehrere Iche spalten, die dann ihrerseits neue Einheiten bilden. Wenn aber, was auch vorkommen kann, ein Ich sich der Existenz der übrigen bewußt wird, so kann sich dieses Ich nicht als eine Einheit fühlen[3]). Die Einheit läßt sich also gar nicht als charakteristisches Merkmal des Ich anführen, weil dieses Merkmal nicht immer vorkommt, und die weitgehenden theoretischen Folgerungen, die man zuweilen aus der behaupteten Einheit gezogen hat, werden damit hinfällig.

Das Ich ist indes nicht ausschließlich der passive Träger

---

[1]) Ebbinghaus: Psychologie. 1. Bd. Leipzig 1902. S. 11.

[2]) Kroman: Tänke- og Själelära, 4 Udg. Kbhn. 1905. S. 106.

[3]) M'Dougall: The case of Sally Beauchamp. Proceedings of the Society for psychical Research. Bd. 19. S. 411.

der von außen erregten Zustände; man findet außerdem, daß es auf zwei verschiedene Weisen die gegebenen Zustände aktiv modifizieren kann. Einerseits werden die als Einheiten gegebenen komplizierten Erscheinungen in Teile zerlegt, andererseits werden ursprünglich isoliert vorkommende Erscheinungen miteinander verknüpft, so daß sie schließlich als Einheiten auftreten können. Es kann also sowohl eine *Analyse* als eine *Synthese* stattfinden, und wenn das Ich auf die eine oder die andere Weise tätig ist, bedient es sich in beiden Fällen der Aufmerksamkeit. Wird die Aufmerksamkeit auf eine Partialerscheinung eines Komplexes gelenkt, tritt dieselbe besonders hervor, während die übrigen Teile unklarer werden; auf diese Weise lassen sich die einzelnen Teile sukzessiv hervorheben: der Komplex wird analysiert. Wird die Aufmerksamkeit dagegen, soweit möglich, gleichzeitig auf mehrere isolierte Zustände gelenkt, so kann bei Wiederholung dieser Tätigkeit die Elemente verknüpft werden: es findet eine Synthese statt.

Es ist eine Hauptaufgabe der Psychologie, die Eigentümlichkeiten des Ich zu untersuchen und zu erklären. Eine solche Untersuchung läßt sich aber nicht gleich anfangs durchführen; es müssen zuerst die Gesetze der einfacheren psychischen Erscheinungen nachgewiesen werden, ehe wir das äußerst komplizierte Gebilde, das Ich, erfolgreich in Angriff nehmen können. Das Problem wird uns im vierten Buch näher beschäftigen; hier ist das Ich nur als psychische Haupttatsache hervorgehoben.

Die Gesamtheit der psychischen Erscheinungen, das Ich, seine Zustände und Tätigkeiten wird in der wissenschaftlichen Psychologie oft als *Seele* bezeichnet. Die Seele hat somit einen viel größeren Umfang als das Bewußtsein, indem sie nicht nur das augenblicklich im Bewußtsein Gegenwärtige, sondern auch was da gewesen ist und was möglicherweise daselbst erscheinen kann, bezeichnet. Der Ausdruck ist insofern nicht gut gewählt, als die landläufige Psychologie nun einmal unter Seele ein unsterbliches, von der Körperwelt völlig verschiedenes Wesen versteht, und diese Auffassung ist uns allen durch die Erziehung dermaßen eingetrichtert, daß wir uns kaum davon losmachen können. An die Seele als wissenschaftlichen Begriff darf man jedoch diese Vorstellungen nicht anknüpfen, denn wir wissen nicht, ob es solche Seelenwesen gibt, und als wissenschaftliche Hypothese hat diese Annahme für die psychologische Forschung keinen Wert (vgl. S. 22).

Fünftes Kapitel.

Tatsächliche Beziehungen zum Leibe.

Daß das Nervensystem, besonders das Gehirn, das Organ der Seele ist, war schon im Altertume erkannt. *Erasistratus* (um 300 v. Chr.) scheint das Verhältnis geahnt zu haben, *Galen* (geb. 131 n. Chr.) stellt als höchst wahrscheinlich fest, daß „das Gehirn der Sitz der vernünftigen Seele sei". Zahlreiche Tatsachen erheben die enge Beziehung zwischen Hirn und Seele über jeden Zweifel.

Das Gehirn steht mittels Nerven sowohl mit den Sinnesorganen als mit den Muskeln in Verbindung; die zu den ersteren gehenden Nerven werden *sensorische*, die zu den letzteren verlaufenden *motorische* Nerven genannt. Wird ein sensorischer Nerv durchschnitten, so fallen diejenigen Empfindungen aus, die sonst durch Reizung des betreffenden Sinnesorganes entstehen. Wird ein motorischer Nerv durchschnitten, können die betreffenden Muskeln nicht willkürlich in Bewegung gesetzt werden. Diese Tatsachen zeigen, daß eine Empfindung erst dann entsteht, wenn das Gehirn erregt wird, und daß ein Entschluß keine Bewegung herbeiführen kann, wenn die Muskeln vom Gehirn aus nicht erregt werden können.

Wie jedes andere Organ kann das Gehirn nur arbeiten, wenn es mit der nötigen Menge Blut versorgt wird. Durch Kompression der Karotiden, der großen Halsarterien, läßt sich die Blutzufuhr zum Gehirn vollständig unterbrechen. In wenigen Sekunden tritt dann Bewußtlosigkeit ein. Der Versuch ist gefährlich, weil er gewöhnlich Krampfanfälle zur Folge hat, zeigt aber deutlich, daß das Bewußtsein von der Arbeitsfähigkeit des Gehirns abhängig ist.

Es besteht ein gewisses Verhältnis zwischen der Entwicklung des Seelenlebens und der Größe und der Entwicklung des Gehirns. Die Feinheit seines Baues, die bei den verschiedenen Tiergattungen große Unterschiede aufweist, hat in dieser Beziehung zweifellos eine nicht geringe Bedeutung, die sich aber schwierig abschätzen läßt. Hiervon abgesehen, steht es zu erwarten, daß die Entwicklung des Seelenlebens, die Höhe der Intelligenz I mit dem absoluten Hirngewichte H wächst. Denn je größer das Gewicht, je mehr Nervenelemente das Gehirn enthält, um so zahlreicher sind die Funktionen, die es auszuüben imstande ist, und um so größer wird die Energie, die gegebenen Falles entladet werden kann. Unter der Vor-

aussetzung eines übereinstimmenden Hirnbaues darf man also annehmen, daß $I = c \cdot H$. Diese einfache Proportionalität könnte indes nur zutreffend sein, wenn die zu vergleichenden Gattungen, Arten oder Individuen dasselbe Körpergewicht hätten. Große Teile des Gehirns haben nämlich nichts mit den seelischen Tätigkeiten zu tun, sie regulieren nur die animalischen Funktionen des Körpers. Hierzu ist aber ein um so größeres Gehirn notwendig, je größer der Körper ist. Es leuchtet also ein, daß je größer das Hirngewicht H im Verhältnis zum Körpergewicht K ist, desto größer wird der für die psychischen Funktionen disponible Teil des Gehirns. Hiernach steht zu erwarten, daß die Entwicklung des Seelenlebens mit dem relativen Hirngewichte wächst, also $I = c \cdot \frac{H}{K}$. Da I also sowohl mit H als mit $\frac{H}{K}$ wachsen wird, müssen wir $I = c \cdot \frac{H^2}{K}$ setzen. In großen Zügen scheint diese Formel wirklich mit der Erfahrung übereinzustimmen, was aus der folgenden Tabelle 1 zu ersehen ist.

Tabelle 1.

	H	$\frac{H}{K}$	$\frac{H^2}{K}$
Mensch	1360	1/35	38,9
Orang-Utan . . .	400	1/51	7,8
Elefant	4500	1/750	6,0
Pferd	650	1/400	1,6
Stier	450	1/800	0,56
Wal	6000	1/14 000	0,43
Löwe	250	1/600	0,42
Kleine Vögel . .	2	1/12	0,17

Für einige der höheren Tiere sind hier sowohl das absolute Hirngewicht H in Grammen als das relative Hirngewicht $\frac{H}{K}$, nebst dem daraus berechneten Verhältnis $\frac{H^2}{K}$ angegeben. Vorausgesetzt, daß unsere Betrachtungen richtig sind, wird die Intelligenz mit abnehmenden Werten der letzteren Größe sinken. Nun ist es allerdings nicht leicht, die Intelligenz der verschiedenen Tiergattungen zu beurteilen; nach den zahlreichen vorliegenden Erfahrungen ist es recht wahrscheinlich, daß unmittelbar nach dem Menschen die menschenähnlichen Affen zu setzen sind, und daß der Elefant den letzteren nicht

sehr nachsteht. Eben diese Ordnung geht aber aus der Tabelle hervor. Ebenfalls wird man es natürlich finden, daß das Pferd zwar nach dem Elefanten kommt, den übrigen Tieren aber bedeutend überlegen ist. Im großen und ganzen kann es also kaum zweifelhaft sein, daß die Entwicklung des Seelenlebens vom Hirngewichte abhängig ist.

Störungen des normalen Seelenlebens gehen sehr häufig mit Verletzungen des Gehirns einher. Höchst wahrscheinlich sind die beiden Arten von Störungen stets miteinander verbunden; dem Anschein nach kommen aber keineswegs selten Ausnahmen vor, die indes sehr wohl Täuschungen sein können, die von den Schwierigkeiten der Untersuchung herrühren. Einerseits gibt es zahlreiche Berichte über schwere Hirnläsionen, die anscheinend keine psychischen Störungen verursacht haben; andererseits ist es, bei tatsächlich vorliegenden psychischen Störungen (z. B. in der Hysterie), bisher nicht gelungen, Veränderungen des Gehirns nachzuweisen.

Im ersteren Falle ist die Untersuchung des psychischen Zustandes kaum je methodisch durchgeführt worden; eine allgemeine Trägheit und Stumpfheit der psychischen Funktionen können daher sehr wohl bestanden haben, ohne daß die Beobachter es bemerkten. Eine solche Herabsetzung der Intelligenz würde sich ohne eingehende Untersuchung nur dann nachweisen lassen, wenn sie die Grenzen der normalen Schwankungen überschritte; diese Grenzen sind aber, wie bekannt, keineswegs eng. Übrigens braucht die Läsion gar keine Störung der Intelligenz herbeizuführen; ihre Wirkung kann z. B. auch eine anormale Reizbarkeit sein, so daß die betreffende Person sehr leicht in Affekt gerät. Auf diesem Gebiete sind die Grenzen des Normalen indes noch unsicherer als hinsichtlich der Intelligenz, und dementsprechend wird die Beurteilung, ob Störungen überhaupt vorliegen, auch unsicherer.

Die histologischen Veränderungen, die faktisch vorliegende seelische Störungen begleiten oder verursachen, können selbstverständlich erst nach dem Tode des Individuums und dann nur, wenn sie eine gewisse Ausdehnung erreicht haben, nachgewiesen werden. Handelt es sich aber nur um Funktionsstörungen gewisser Nervenelemente, die wahrscheinlich nur auf geringen Modifikationen der chemischen Konstitution dieser Elemente beruhen, so steht es überhaupt nicht zu erwarten, daß sie sich mittels unserer jetzigen relativ groben Untersuchungsmethoden nachspüren lassen. Die mikroskopische

Kleinheit der betreffenden Nervenelemente und die äußerst komplizierte Konstitution der lebendigen Eiweißstoffe sind vorläufig unübersteigbare Schranken der Forschung. Daß es einmal gelingen wird, auch diese Schwierigkeiten zu überwinden, läßt sich kaum bezweifeln; eine ganz andere Frage ist es, ob man dann im toten Gehirn die Veränderungen, die im lebendigen Gehirn die Funktionsstörungen verursachten, nachweisen kann. Es stellen sich hier, wie man sieht, der Beobachtung so viele und verschiedenartige Hindernisse entgegen, daß kein großes Gewicht darauf gelegt werden darf, daß man bisher häufig nicht imstande gewesen ist, die den psychischen Störungen entsprechenden physiologischen Veränderungen nachzuweisen.

Nach allem Angeführten kann also kein Zweifel darüber bestehen, daß *das Gehirn das Organ der Seele ist.* Man ist aber hierbei nicht stehen geblieben, sondern hat einen bestimmten Ort als den besonderen Sitz der Seele gesucht. Daß solche Bemühungen zu keinem positiven Ergebnis führen können, geht erstens daraus hervor, daß es im Gehirn kein Organ gibt, dessen Zerstörung den Wegfall sämtlicher psychischer Erscheinungen hervorruft. Zwar findet man, daß das Leben und damit auch das Seelenleben bei der Verletzung gewisser Zentren erlöscht, es sind diese aber die regulatorischen Zentren der Atmung und der Blutzirkulation, die eben nichts mit den psychischen Funktionen zu tun haben. Zweitens lehrt uns die Hirnanatomie, daß die Nervenbahnen überhaupt nicht an einem Orte zusammenlaufen, wie es der Fall sein müßte, wenn die Seele, die von allen peripheren Punkten aus erregt werden kann, einen räumlich begrenzten Sitz hätte. Da die Nervenbahnen vielmehr so verlaufen, daß sie alle Punkte des Gehirns in gegenseitige Verbindung setzen, muß angenommen werden, daß die psychischen Funktionen mit der Tätigkeit ausgedehnter Hirnteile verknüpft sind. *Die Seele läßt sich nicht als ein unräumliches Wesen auffassen.*

Sechstes Kapitel.
Theorien von den wechselseitigen Beziehungen.

Während die beiden ersten Aufgaben der Psychologie, die Beschreibung der Erscheinungen und die Feststellung der gesetzmäßigen Beziehungen derselben (S. 1), nur auf dem Wege der Erfahrung, durch Beobachtung, zu lösen sind, er-

fordert die dritte Aufgabe, die Erklärung der gefundenen Tatsachen, eine ganz andere Behandlung. Wie die physikalischen und chemischen Gesetze nur auf die Weise zu erklären sind, daß man von gewissen Annahmen über die Natur der Materie ausgeht und dann die betreffenden Gesetze als notwendige Folgerungen dieser Annahmen ableitet, so kann eine Erklärung der psychologischen Gesetze nur durch ein analoges Verfahren erreicht werden. Man muß von einer Theorie über die Natur der psychischen Erscheinungen ausgehen und den Nachweis führen, daß die gefundenen Gesetze einfache Folgerungen der Theorie sind. Je vollständiger eine Theorie solche Ableitungen gestattet, um so größer ist ihre Bedeutung und die Wahrscheinlichkeit ihrer Richtigkeit.

An Seelentheorien haben wir keinen Mangel. Dieser Umstand aber, daß es deren mehrere gibt, zeigt deutlich, wie keine derselben imstande ist, die Forderungen zu erfüllen, die an eine solche Theorie zu stellen sind. Die Möglichkeit ist zwar nicht ausgeschlossen, daß mehrere Theorien gleichzeitig eine gewisse Gruppe von Tatsachen gleich gut zu erklären vermögen; je zahlreicher aber die zu erklärenden Tatsachen sind, um so größer wird die Wahrscheinlichkeit, daß eine der um die Herrschaft ringenden Theorien sich den anderen überlegen erweist. Handelt es sich daher um so umfassende Theorien wie diejenigen, die die Beziehungen zwischen Seele und Leib zu erklären haben, so ist es kaum denkbar, daß mehrere verschiedene den Tatsachen gleich gut gerecht werden können. Wenn dennoch keine der historisch gegebenen Seelentheorien sich als die einzig mögliche erwiesen hat, liegt es einfach darin, daß keine dieser Theorien überhaupt etwas zu erklären imstande ist. Darüber kann man sich auch nicht wundern, weil diese Theorien als Resultat philosophischer Spekulationen in alten Zeiten entstanden sind, wo nur die unmittelbaren Ergebnisse der Selbstbeobachtung bekannt waren. Der Zweck der Theorien konnte folglich nicht derjenige sein, eine Reihe festgestellter gesetzmäßiger Beziehungen zu erklären; in der Tat haben die Theorien ganz andere, zum Teil recht verschiedene Ziele gehabt. Während eine Theorie, aus religiösen Interessen entsprungen, fast ausschließlich auf die Möglichkeit der persönlichen Existenz nach dem leiblichen Tode abzielt, suchen die übrigen nur das — jedenfalls wissenschaftlichere — Problem zu lösen, wie eine Beziehung zwischen den beiden verschiedenartigen Gebieten, dem physischen und

dem psychischen, sich überhaupt denken läßt. Die Annahmen, die zur Lösung eines solchen allgemeinen Problems erforderlich sind, reichen indes nicht aus, um konkretere gesetzmäßige Beziehungen zu erklären, und die Theorien versagen somit eben da, wo sie auf ihre Richtigkeit geprüft werden können.

Im folgenden gehen wir in aller Kürze die historisch gegebenen Theorien kritisch durch, um diejenige aufzusuchen, die einer Erweiterung fähig ist, so daß sie für psychologische Zwecke anwendbar wird. Da fast jede Theorie in mehreren Abarten, Varietäten, vorliegt, wird es praktisch unmöglich, alle diese oft wenig verschiedenen Auffassungen zu berücksichtigen. Es hat dies auch keinen Zweck, da die Anwendbarkeit einer Theorie nicht auf unwesentlichen Modifikationen beruhen kann; wir betrachten daher nur die Hauptformen. Um einen Überblick zu erhalten, teilen wir die Theorien in die beiden Gruppen: die dualistischen und die monistischen, je nachdem das Physische und das Psychische aus verschiedenartigen oder aus gleichartigen Elementen bestehend angenommen werden. Bezeichnen wir ferner, mit einem Höffding entlehnten Ausdruck [1]), das Physische oder Materielle durch m, das Psychische durch p und die Wechselwirkung durch $\sim$, so resultieren die folgenden möglichen Theorien, die auch fast alle behauptet worden sind:

Dualistische Theorien:

I. Dualistischer Spiritualismus, $m \sim p$.

II. Die partiellen Identitätshypothesen: psychophysischer Materialismus, $m_1 \sim mp$ und psychophysischer Spiritualismus $mp \sim p_1$.

Monistische Theorien:

III. Der Materialismus, $m_1 \sim m$.

IV. Monistischer Spiritualismus, $p_1 \sim p$.

V. Psychophysischer Parallelismus, $m_1 p_1 \sim mp$.

I. Der landläufige *dualistische Spiritualismus* zieht eine scharfe Grenze zwischen der räumlich ausgedehnten Körperwelt und der Seele, einem unräumlichen, immateriellen und unsterblichen Wesen, das man sich außerdem mit einem freien, d. h. von äußeren Ursachen und inneren Motiven nicht determinierten, Willen ausgestattet denkt. Von dieser letzteren Bestimmung können wir hier gänzlich absehen, weil sie jede

---

[1]) Psykologi i Omrids, 5 Udg. Kbhn. 1905. S. 91.

Psychologie unmöglich macht. Was nicht durch gegebene Ursachen bestimmt ist, ist gesetzlos; da hört eben die Wissenschaft auf. Das Merkmal Unsterblichkeit können wir auch beiseite lassen, da die Psychologie sich nur mit den seelischen Erscheinungen vor dem leiblichen Tode beschäftigt und daher keine Hypothesen nötig hat, die die Fortdauer dieser Erscheinungen nach dem Tode behaupten. Daß die „Seele“ sich ferner als unräumlich nicht auffassen läßt, wurde schon oben (S. 19) nachgewiesen. Von den verschiedenen Prädikaten erübrigt somit nur die Immaterialität. Auch diese Eigenschaft bereitet uns indes erhebliche Schwierigkeiten.

Daß die Seele immateriell sei, kann nur bedeuten, daß sie und die Materie keine gemeinschaftlichen Eigenschaften besitzen. Dann läßt sich aber auch die vorausgesetzte Wechselwirkung der beiden nicht annehmen. Ein Lichtstrahl und eine Schallwelle können, soviel wir wissen, sich nicht gegenseitig beeinflussen, eben weil sie ganz verschiedenartige Dinge sind, und sie gehören doch alle beide der Körperwelt an. Wenn man also von der Seele annimmt, daß sie mit der Körperwelt nichts Gemeinschaftliches besitzte, wird eine Wechselwirkung ganz unverständlich. Hiergegen läßt sich erwidern, daß wir überhaupt nicht wissen, wie eine Wechselwirkung zustande komme, und weil sie uns unter gegebenen Umständen unverständlich wird, kann sie dennoch recht wohl stattfinden. Nehmen wir aber die Wechselwirkung trotz ihrer inneren Unwahrscheinlichkeit an, so geraten wir in unlöslichen Widerspruch mit den physikalischen Axiomen und Hauptsätzen.

Die durch eine Reizung im Nervensystem ausgelöste Veränderung besteht in einer Dissoziation der lebendigen Eiweißstoffe, in einer Umwandlung chemischer Energie in andere Energieformen. Für eine solche Energietransformation gilt das Gesetz: die Summe der Energien eines in sich abgeschlossenen Systems ist konstant, d. h., wenn eine gewisse Menge einer Energieform dem Anschein nach verschwindet, entsteht immer eine äquivalente Menge anderer Energieformen (s. S. 31). Wird nun die Seele von der Tätigkeit des Gehirns erregt, so sind nur zwei Möglichkeiten denkbar: entweder wird zu dieser Erregung Energie verbraucht, oder die Energiemenge bleibt konstant. Im ersteren Falle verschwindet also wirklich Energie, ohne durch eine äquivalente Menge anderer Art ersetzt zu werden; der Satz von der Erhaltung der Energie hat also hier keine Gültigkeit, was ohne Beweis

nicht angenommen werden darf. Im letzteren Falle, wo keine Energie verbraucht wird, kann eine Wechselwirkung zwischen Gehirn und Seele dennoch stattfinden; dann muß aber eine Richtungsänderung der physischen Bewegung stattfinden. Wenn ein elastischer Ball gegen eine elastische Wand schlägt, dann prallt er zurück; die Richtung der Bewegung verändert sich, die Energie des Balles aber nicht. In Analogie hiermit ist eine Wechselwirkung zwischen Gehirn und Seele ohne Energietransformation denkbar. Der den Vorgang beobachtende Physiologe würde aber dann eine Richtungsänderung der physischen Bewegung ohne nachweisbare Ursache konstatieren; dies widerstreitet aber dem physikalischen Axiome von der Beharrung einer Bewegung, dem Inertiegesetze. Es ist somit ganz einerlei, ob wir uns die Wechselwirkung mit oder ohne Transformation der Energie denken; in beiden Fällen wird die Annahme mit feststehenden physikalischen Gesetzen unvereinbar. Eine Theorie, die zu solchen Konsequenzen führt, kann nicht angenommen werden; als Grundlage einer wissenschaftlichen Seelenlehre ist sie jedenfalls durchaus unanwendbar.

II. Die besprochenen Schwierigkeiten sind von den *partiellen Identitätshypothesen* vermieden. Wenn die Seele außer ihren psychischen auch physische Eigenschaften besitzt, wie der psychophysische Materialismus annimmt, so wird eine Wechselwirkung zwischen der Körperwelt und der Seele möglich. Ganz dasselbe wird auch erreicht, wenn man der Seele nur psychische, der Materie aber außer den physischen auch psychische Eigenschaften zuschreibt. Beide Hypothesen ermöglichen eine Wechselwirkung zwischen Körper und Seele, ohne mit den Hauptsätzen der Physik in Widerstreit zu geraten. Wir finden indes nur bei den mit einem Nervensystem ausgestatteten Tieren Erscheinungen, die die Annahme eines Seelenlebens wahrscheinlich machen; psychische Eigenschaften auch bei der unbelebten Materie anzunehmen, scheint daher zunächst eine künstliche Hypothese. Der psychophysische Materialismus verdient somit vor dem psychophysischen Spiritualismus den Vorzug. Wir haben dann hier eine mögliche Theorie, indem sie sich nicht in Widerstreit mit den physikalischen Axiomen verwickelt. Ehe wir sie aber einer näheren Prüfung unterziehen, betrachten wir erst die anderen Theorien.

III. Der *Materialismus* nimmt an, daß die Materie, die sich bewegenden materiellen Teile, die Grundlage des Daseins sei; das Psychische sei nur eine besondere Form, die diese

materiellen Bewegungen im Gehirn annehmen. Es ist aber bis jetzt niemand gelungen, so viel als eine Andeutung davon zu geben, wie Bewußtseinserscheinungen, Empfindungen, Gefühle usw. aus der Bewegung materieller Teile resultieren können. Bis ein solcher Nachweis erbracht worden ist, kann die Theorie nur als leere Worte angesehen werden.

IV. Ein ganz analoger Einwand trifft den *monistischen Spiritualismus.* Im Gegensatze zum Materialismus nimmt diese Theorie an, daß alles Existierende seinem Wesen nach psychisch sei, nur psychische Eigenschaften besitze. Unter dieser Voraussetzung wird es augenscheinlich ganz unverständlich, wie wir je dazu gekommen sind, eine materielle Welt zu erdichten. Was nur psychische Eigenschaften hat, kann nur als psychisch aufgefaßt werden. Ist der Stuhl, an den man sich stößt, psychischer Natur, so muß als Ursache der entstandenen Schmerzempfindung irgendwelcher psychischer Zustand, nicht aber ein hartes, raumerfüllendes Ding gefunden werden. Wir nehmen doch sonst immer psychische Ursachen unserer Bewußtseinszustände an; ein gegenwärtiger Gedanke ist von einem vorhergehenden erregt usw. Nur für unsere Empfindungen haben wir keine psychischen Ursachen erdichtet, und da wir alle über die Haupteigenschaften dieser Ursachen einig sind, läßt sich dies nur so erklären, daß die Ursachen unserer Empfindungen Eigenschaften besitzen, die das Psychische nicht hat. Der monistische Spiritualismus ist also ebensowenig imstande, unseren Glauben an eine materielle Außenwelt zu erklären, wie der Materialismus die tatsächliche Existenz des Seelenlebens aus den Bewegungen der Materie ableiten kann.

V. Der *Parallelismus,* auch *Monismus* oder *Identitätshypothese* genannt, sucht die Schwierigkeiten zu vermeiden, die den übrigen Theorien anhaften. Die Theorie hat aber eine große Anzahl zum Teil recht verschiedener Formen; sie ist ein wahrer Proteus, welche, wenn sie angegriffen wird, sofort ihre Gestalt ändert, um den Händen der Angreifer zu entschlüpfen [1]). Auf diese wechselnden Formen, die größtenteils nur mittels Bilder und Gleichnisse dargestellt werden, können wir hier nicht eingehen; halten wir uns an diejenige Gestaltung der Theorie, die sich am leichtesten verteidigen läßt.

Die wahre Natur des Existierenden, sagt die Theorie,

[1]) Heymans: Zur Parallelismusfrage. Zeitschr. f. Psychol. 17. Bd. S. 62 u. f.

kennen wir nicht; unsere Auffassung ist stets davon abhängig, wie die Objekte beobachtet werden. Wie ein Sonnenstrahl als Licht aufgefaßt wird, wenn er das Auge, als Wärme dagegen, wenn er die Haut trifft, so wird das unbekannte Existierende, *X*, als physische Vorgänge aufgefaßt, wenn es von außen, mittels der Sinne, dagegen als psychische Erscheinungen, wenn es von innen, durch Selbstbeobachtung, betrachtet wird. Dieselben Veränderungen, die sich dem beobachtenden Physiologen als Gehirnvorgänge darbieten, treten im Bewußtsein des betreffenden Individuums als psychische Zustände hervor[1]). Man kann dieses auch so ausdrücken, daß man dem unbekannten *X* sowohl physische als psychische Eigenschaften zuschreibt; die Eigenschaften eines Dinges bezeichnen nämlich nur die Beziehungen, in die es zu andern Dingen treten kann.

Bis so weit ist der Parallelismus zweifelsohne unangreifbar. Eine Wechselwirkung wird nur zwischen den einzelnen Teilen des *X* angenommen, also zwischen Elementen, die überall einige gleichartige Eigenschaften besitzen. Außerdem erklärt die Hypothese leicht, warum wir zu einigen psychischen Zuständen, nämlich den Empfindungen, stets physische Ursachen finden. Soviel wir wissen, sind es nämlich nur die Gehirnvorgänge, die einer Beobachtung „von innen" zugänglich sind. Da die Ursachen der Empfindungen außerhalb des Gehirns liegen, sind sie nur „von außen" zu beobachten und treten uns somit als physische Erscheinungen entgegen. Die Hypothese ist also tatsächlich imstande zu erklären, wie wir zur Annahme einer materiellen Welt kommen, obwohl eine direkte Wechselwirkung zwischen dem Physischen und dem Psychischen nicht stattfindet.

In der üblichen Darstellung enthält der Parallelismus indes etwas mehr, als hier hervorgehoben. Wir ließen es oben zunächst unentschieden, ob jeder Teil des *X* sowohl mit psychischen als physischen Eigenschaften ausgestattet ist, oder ob psychische Eigenschaften nur gewissen Teilen des *X* anhaften. Da nur Gehirnvorgänge psychisch aufgefaßt werden können, liegt es wohl am nächsten, nur denjenigen Teilen des *X*, die „von außen" betrachtet als Nervensystem erscheinen, psychische Eigenschaften zuzuschreiben. Was aber in einem gegebenen Augenblick als ausschließlich materiell

---

[1]) Ebbinghaus: Psychologie. I. Bd. 1897. S. 46. Heymans, a. a. O. S. 72. Höffding: Psykologi, 5 Udg. S. 92.

aufgefaßt wird, das Essen z. B., kann später integrierende und wesentliche Teile eines Nervensystems ausmachen, und somit der Betrachtung „von innen“ zugänglich sein. Es muß daher angenommen werden, daß es auch vorher psychische Eigenschaften besaß; und das ganze Dasein wird auf diese Weise ein psycho-physisches, das sich als zwei verschiedene, einander genau entsprechende Kausalreihen darstellen würde, wenn es überall gleichzeitig von innen und von außen beobachtet werden könnte. Diese Auffassung ist ohne Zweifel die konsequente Form des Parallelismus, die Zwei-Seiten-Theorie, die von den meisten Anhängern festgehalten wird. Freilich muß es sogleich zugegeben werden, daß wir von der vorausgesetzten psychischen Kausalreihe nur ein äußerst dürftiges Fragment kennen; und da es die physische Kausalreihe nicht im geringsten stören würde, wenn dieses kleine Fragment der psychischen Reihe wegfiele, so wird also die physische Kausalreihe — die Körperwelt — die Hauptsache, das Psychische dagegen eine zwar unleugbare, dem Anschein nach aber ganz überflüssige Zugabe. Eine solche materialistische Form des Parallelismus ist keineswegs selten; mit klaren Worten wird sie wohl kaum dargestellt, um so öfter kann man sie aber als den leitenden Gedanken aus den Entwicklungen herauslesen[1]). Als Gegensatz der materialistischen Form kommt auch eine spiritualistische vor. Diese geht davon aus, daß die Selbstbeobachtung uns die wahre Natur des Daseins verrät. Seinem Wesen nach ist somit alles psychisch, und wenn wir es trotzdem größtenteils als materiell auffassen, unterliegen wir einfach einer Täuschung.

Die beiden letzterwähnten Formen des Parallelismus sind kaum aufrecht zu halten. Wir gehen doch sonst davon aus, daß organische Tätigkeiten und Gebilde, die keine Bedeutung haben, nach und nach verschwinden. Es ist daher nicht sehr wahrscheinlich, daß das Seelenleben. das sich nur bei den höheren Tieren mit Sicherheit nachweisen läßt, und somit als das höchste Erzeugnis der organischen Entwicklung hervortritt, nur als eine bedeutungslose und überflüssige Zugabe des Lebens zu betrachten ist. Eine solche Theorie wird man jedenfalls erst dann der Psychologie zugrunde legen, wenn keine bessere sich finden läßt. Damit hat es aber noch lange

---

[1]) Vgl. z. B. Lange: Über Gemütsbewegungen. Leipzig 1887, S 65 u. f. Ribot: Psychologie des sentiments. Paris 1896, S. 32.

Aussicht. — Nicht viel besser steht es übrigens mit der spiritualistischen Form des Parallelismus. Ist alles Existierende psychischer Natur, so wird es ganz rätselhaft, warum wir es nicht überall unmittelbar so auffassen, sondern das täuschende Bild einer Körperwelt hervorbringen. Eine solche Lehre hat mit dem Parallelismus nur den Namen gemeinsam; sie ist ein reiner Spiritualismus und unterliegt denselben Einwänden wie dieser. — Die beiden erwähnten Formen des Parallelismus sind indes dadurch besonders interessant, daß sie zeigen, wie unnatürlich die doppelte Buchhaltung dieser Theorie ist. In der unorganischen Natur gibt es tatsächlich nichts, das uns dazu nötigt, eine psychische Kehrseite anzunehmen, und fast unvermeidlich verwandelt sich deshalb die Zwei-Seiten-Theorie entweder in einen inkonsequenten Materialismus oder in einen monistischen Spiritualismus.

Die behauptete psycho-physische Doppelheit des ganzen Daseins, aus der alle Schwierigkeiten des Parallelismus entstehen, ist eine notwendige Konsequenz der mechanischen Naturauffassung, mit der der Parallelismus eng verknüpft ist. Führt man alle materiellen Erscheinungen auf Atome und Atombewegungen zurück, so werden die Atome — oder richtiger: das *X*, insofern es physisch, als Atome aufgefaßt wird — die „Träger" aller Eigenschaften und Kräfte. Die Atome müssen deshalb auch psychische Eigenschaften haben, weil die Gehirnvorgänge Atombewegungen sind, die sich der Selbstbeobachtung als psychische Erscheinungen kundgeben. Streng genommen ist es indes gar nicht notwendig, sämtlichen Atomen psychische Eigenschaften zuzuschreiben, denn es gibt nur 12 Grundstoffe, die integrierende Teile eines Nervensystems bilden können, und es würde somit den Tatsachen genügen, wenn man annähme, daß diese 12 Grundstoffe mit psychischen Eigenschaften ausgestattet wären. Da die betreffenden Grundstoffe indes durch nichts verraten, daß sie vor den übrigen diese merkwürdigen Eigenschaften voraus besitzen, so wird eine solche Beschränkung unstatthaft, und die einfache Konsequenz ist die sonderbare Lehre von der psycho-physischen Doppelheit alles Seienden. Selbst wenn die Theorie sonst einwandfrei wäre — was durchaus nicht der Fall ist[1]) — würde die zwar konsequente, aber unwahrscheinliche Annahme von den psychischen Eigenschaften der unorganischen Materie sehr

[1]) Kroman: Tänke-og Själelärc. 4 Udg. Kbhn. 1905. S. 112 u. f.

bedenklich sein. Wir können indes diese bedenkliche Konsequenz unschwer beseitigen.

Die mechanische Naturauffassung ist nämlich nicht die einzig mögliche, sie ist nicht einmal ganz einwandfrei. Nach dieser Theorie entstehen die verschiedenen Arten der Energie durch die verschiedenen Bewegungen der Atome; ein Atom ist aber ein Teil des Raumes, in dem verschiedene Energien tätig sind. Die Energien können also nicht als Atombewegungen erklärt werden, weil das Atom selbst eine oder mehrere Formen der Energie ist. Es ist daher, vorläufig wenigstens, konsequenter, von der Energie als dem letzten nicht weiter erklärbaren Begriff auszugehen. Die Energie tritt in mehreren verschiedenen Formen auf, von denen einige sehr häufig, andere dagegen nur unter ganz bestimmten Umständen entstehen. *Als eine solche Form der Energie, die bisher nur im Zentralnervensystem nachgewiesen worden ist, kann man das Psychische ansehen.* Diese Energieform, nennen wir sie der Kürze halber die *P*-Energie, hat sowohl physische als psychische Eigenschaften, und sie entsteht wie jede andere Energie nur durch Umwandlung anderer Arten der Energie. „Von außen" gesehen ergibt sich also im Gehirn eine ununterbrochene physische Kausalreihe, „von innen" gesehen erscheint eine psychische Kausalreihe nur da, wo bei den Energietransformationen *P*-Energie entsteht. Diese Theorie ist also einfach eine partielle Identitätslehre, die vor dem gewöhnlichen Parallelismus den Vorzug hat, daß sie nichts Psychisches in der unorganischen Natur annimmt, wo es sich tatsächlich nicht einmal vermuten läßt.

Von großer Bedeutung ist ferner der Umstand, daß diese energetische Identitätslehre uns zeigt, wo die Erklärung aller speziellen psychologischen Gesetze zu suchen ist. Wird das Psychische nämlich als eine Energieform aufgefaßt, die durch Transformation anderer Energiearten im Nervensystem entsteht, so können die psychologischen Gesetze nur Gesetze der Nerventätigkeit sein. Jede psychische Erscheinung ist einfach ein Glied eines psychophysiologischen Vorganges; wenn wir die Gesetze der Energietransformationen und der gegenseitigen Beziehungen dieser Umwandlungen im Nervensystem kennen, werden die psychologischen Gesetze als notwendige Konsequenzen dieser Nervenprozesse hervortreten. Die Tätigkeit des Nervensystems ist indes nur eine spezielle Form der allgemeinen Lebensäußerungen, und diese wiederum sind nur

besondere Formen von Energietransformationen. In letzter Instanz sind es die Gesetze der allgemeinen Energetik, die sich überall geltendmachen, welche speziellen Formen sie auch sonst annehmen. Um dies zu zeigen, betrachten wir in den drei folgenden Abschnitten die Grundzüge der Energetik, der Biologie und der Physiologie des Nervensystems.

II. Die Energie und ihre Umwandlungen.

Siebentes Kapitel.

Die Hauptsätze der allgemeinen Energetik.

Energie im physikalischen Sinne ist die Fähigkeit, Arbeit zu leisten. Eine Arbeit wird ausgeführt, wenn ein Widerstand (eine Kraft) auf einem gewissen Wege überwunden wird, wie z. B. wenn eine Last gehoben wird. Je größer die Last, um so größer wird die Arbeit, und je größer der Weg, auf dem sie in der Richtung des Widerstandes gehoben wird, um so größer wird ebenfalls die Arbeit. Ist das Gewicht P kg, die senkrechte Hubhöhe H m, so wird die ausgeführte Arbeit $A = P \cdot H$ kgm. Die durch die Hebung der Last ausgeführte Arbeit ist nicht verloren; wegen ihrer durch die Hebung erreichten Lage besitzt die Last jetzt die Fähigkeit, Arbeit zu leisten, was daraus zu ersehen ist, daß sie z. B. eine andere Last heben kann, indem sie selbst wieder zu Boden fällt. Ein gehobenes Gewicht besitzt also einen gewissen Arbeitsvorrat; man schreibt ihm eine *potentielle Energie, Distanz-* oder *Lageenergie* zu. Die Größe dieses Arbeitsvorrates ist eben die Arbeit, die sich gewinnen läßt, wenn das Gewicht ebenso tief fällt, wie es vorher gehoben wurde.

Indem das Gewicht fällt, nähert es sich immer mehr seiner ursprünglichen Lage, und der Arbeitsvorrat wird stets kleiner; gleichzeitig wird die Geschwindigkeit des Körpers fortwährend größer, wenn es frei, d. h. ohne Arbeit abzugeben, fällt. Wenn der ganze Weg H zurückgelegt ist, hat das Gewicht die Geschwindigkeit $v = \sqrt{2gH}$ erreicht, wo g die Akzeleration der Schwere bezeichnet. Hieraus ergibt sich $H = \frac{v^2}{2g}$, und setzt man dieses in den Ausdruck für die Arbeit hinein, hat man:

$$A = P \cdot H = \tfrac{1}{2} \cdot \frac{P}{g} \cdot v^2 = \tfrac{1}{2} mv^2 \quad \ldots\ldots \text{(Gl. 1).}$$

indem $\frac{P}{g} = m$ die Maße des Gewichts bezeichnet. Den Ausdruck $\frac{1}{2}mv^2$ nennt man die *kinetische Energie* oder *Bewegungsenergie* des Körpers. Sie ist, wie die potentielle Energie, nur eine besondere Form der Arbeit. Trifft das fallende Gewicht nämlich z. B. eine Feder, so kann es diese zusammendrücken, spannen, wodurch Arbeit geleistet wird, die das Gewicht wieder in die Höhe schleudern kann. Am besten sieht man die Umsetzungen der Energie beim schwingenden Pendel. Wird ein in einem Faden aufgehängtes Gewicht von seiner Ruhelage entfernt, so wird eine Arbeit geleistet, weil das Gewicht dadurch gehoben wird; in einer beliebigen Lage festgehalten enthält es somit einen gewissen Arbeitsvorrat. Sich selbst überlassen, schwingt es daher in seine Ruhelage zurück, setzt dabei seine potentielle in kinetische Energie um und erreicht die Ruhelage mit einer gewissen Geschwindigkeit, wegen welcher es über die Ruhelage hinausgeht. Indem das Gewicht jetzt wieder steigt, verwandelt sich die kinetische in potentielle Energie; die Geschwindigkeit wird stets geringer und gleich Null, wenn das Gewicht dieselbe Entfernung von der Ruhelage erreicht hat, von der es herabfiel. So pendelt das Gewicht hin und zurück, indem es fortwährend Arbeitsvorrat in Bewegungsenergie und diese wieder in Arbeitsvorrat umsetzt. Denken wir uns das pendelnde Gewicht völlig von den Umgebungen abgeschlossen, so kann bei diesen Umsetzungen keine Energie verschwinden; es tritt stets eine bestimmte Menge Bewegungsenergie statt der Lageenergie und umgekehrt auf. Es läßt sich daher behaupten: *in einem in sich abgeschlossenen System ist die Summe der potentiellen und der kinetischen Energie konstant.*

Ein in Bewegung gesetzter Körper verliert jedoch nach und nach seine Energie; das Pendel z. B. nimmt schließlich seine Ruhelage wieder ein. Dies rührt nun eben daher, daß wir nicht imstande sind, ein von der Umgebung völlig abgeschlossenes System herzustellen. Das Pendel z. B. setzt die umgebende Luft in Bewegung und überwindet im Aufhängungspunkte einen Beugungs- oder Reibungswiderstand. Wenn aber Arbeit wegen Reibung, Beugung, Stoß usw. dem Anschein nach verschwindet, so treten stets andere Erscheinungen, am häufigsten Wärme, auf; und wiederum zeigt es sich, daß immer eine bestimmte Wärmemenge eine bestimmte Menge Arbeit ersetzt. Nimmt man als Einheit der Wärmemenge die Menge Wärme, die erforderlich ist, um 1 kg

Wasser 1 ° C zu erwärmen (diese Größe wird eine Kilogramm-Kalorie, Cal., genannt), so geht aus den Messungen hervor, daß 1 Cal. = 427 kgm Arbeit ist. Diese Gleichung besagt also, daß eine Wärmemenge von der Größe 1 Kal. jedesmal auftritt, wenn 427 kgm Arbeit verschwindet, ohne daß andere Erscheinungen als eben Wärme zustande kommen. Umgekehrt kann aber auch Arbeit auf Kosten einer vorhandenen Wärmemenge entstehen (Dampf- und Explosionsmaschinen). *Die Wärme ist daher als* eine besondere Art Arbeit, *eine Form der Energie anzusehen*, die von Arbeit entstehen kann und sich wieder in Arbeit umwandeln läßt.

Außer den schon erwähnten gibt es noch mehrere andere Energiearten, nämlich die *Form-*, *Flächen-* und *Volumenergie*, die sich dadurch kundgeben, daß die Veränderung der Form, der Oberfläche oder des Volums eines Körpers eine Arbeit erfordert; ferner die *elektrische* und die *magnetische* Energie, die *chemische* und die *strahlende* Energie. Diese Energieformen sind die von den Physikern bisher angenommenen; es ist aber gar nicht ausgeschlossen, wohl nicht einmal unwahrscheinlich, daß nicht künftig neue Arten entdeckt werden können. Als eine solche neue, noch nicht anerkannte Form der Energie können wir die psychische aufstellen. Aus der ganzen folgenden Darstellung der Psychologie wird hervorgehen, daß das Psychische sich in jeder Beziehung wie eine Energie verhält, so daß es sich den Energieformen vollständig anreiht. Sehen wir aber vorläufig hiervon ab, indem wir nur die bisher anerkannten Energien in Betracht ziehen, so zeigen die Untersuchungen, daß alle diese Energien sich gegenseitig umwandeln lassen. Wenn eine bestimmte Menge einer Energieform verschwindet, entsteht stets eine äquivalente Menge einer anderen. Als erster Hauptsatz der Energetik hat man daher das Gesetz von der Erhaltung der Energie aufgestellt:

Die Form der Energie ist veränderlich, die Summe der Energien eines in sich abgeschlossenen Systems ist dagegen konstant.

Der erste Hauptsatz gibt an, was geschieht, wenn eine Umwandlung der Energie stattfindet; dagegen wird nichts gesagt von den Bedingungen, unter denen eine solche Veränderung der Energie eintritt. Zu einem diesbezüglichen Gesetze führen uns die folgenden Tatsachen.

Wir sahen oben, daß eine Bewegung und Umwandlung der Lageenergie nur dann freiwillig, ohne äußeres Eingreifen, stattfindet, wenn die Entfernung des Gewichts von der Erd-

oberfläche kleiner werden kann. Lageenergie geht nie von selbst von einem Punkte an einen anderen über, ohne daß die beiden Punkte einen Höhenunterschied haben. Sind ein weites Gefäß und ein enges Rohr so mit Wasser gefüllt, daß die Oberflächen sich in derselben Höhe befinden, so können sie ohne Störung des Gleichgewichtes miteinander in Verbindung gesetzt werden, obschon das weite Gefäß eine viel größere Lageenergie als das enge Rohr enthält. Sobald aber ein Höhenunterschied zustande gebracht wird, tritt eine Bewegung und Umwandlung der Lageenergie ein, und die Bewegung geht stets von der größeren zur kleineren Höhe über. Der Teil der Energie, der sich unter diesen Umständen umsetzt, ist ebenfalls nur von dem Höhenunterschiede abhängig.

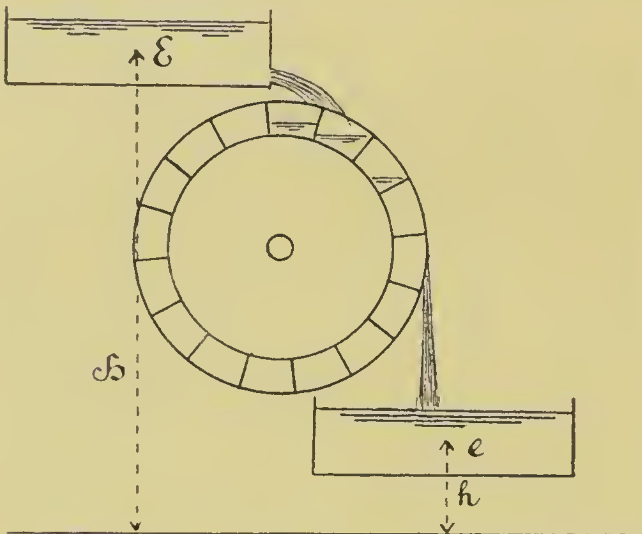


Fig. 1.

Befindet sich im oberen Gefäße (Fig. 1) P kg Wasser, dessen Schwerpunkt in der Höhe H liegt, so ist der hier vorhandene Arbeitsvorrat $E = PH$. Strömt das Wasser in das tieferstehende Gefäß hinunter, so wird ein Teil der Lageenergie in Bewegungsenergie umgewandelt. Wir können diese Energie Arbeit ausführen lassen, indem z. B. ein Wasserrad, wie in der Figur angedeutet, in Bewegung gesetzt wird. Wir können aber auch das Wasser einfach ins Gefäß hinabstürzen lassen, wodurch die ganze umgewandelte Energie schließlich in Wärme umgesetzt wird; was aus der transformierten Energie wird, darauf kommt es hier nicht an. Ist alles Wasser unten hineingelaufen, so ist die hier vorhandene Lageenergie $e = Ph$, indem der Schwerpunkt des Wassers hier in der Höhe h liegt. Umgewandelt ist somit: $E - e = PH - Ph = P(H-h)$, und von der ursprünglichen Energie E also der Bruchteil:

$$\frac{E-e}{E} = \frac{P(H-h)}{PH} = \frac{H-h}{H} \quad \ldots\ldots\ldots \text{(Gl. 2)}.$$

Aus Gleich. 2 ist ersichtlich, daß nur der eine Faktor der Lageenergie, nämlich die Höhe, nicht aber das Gewicht für die Umwandlung dieser Energie von Bedeutung ist. Dieser

Satz läßt sich indes so verallgemeinern, daß er auch für die übrigen Energieformen Gültigkeit erhält. Wie die Lageenergie ist nämlich jede Energie durch ein Produkt aus zwei Faktoren bestimmt, die die *Intensität* und die *Kapazität* der Energie genannt werden. Die uns zunächst interessierenden Energien können in die folgenden Faktoren zerlegt werden:

Energie:	Intensität:	Kapazität:
Lageenergie,	Weg,	Kraft,
Wärme,	Temperatur,	Entropie,
Elektrizität,	Spannung (Potential),	Elektrizitätsmenge,
Chemische Energie,	Affinität,	Verbindungsgewicht.

Der in Gleichung 2 ausgedrückte Satz ist nun, wie gesagt, nur ein Spezialfall, den wir seiner Einfachheit wegen abgeleitet haben. Bedeuten aber H und h allgemein die Intensitäten einer Energie, so ist das Gesetz auch für die übrigen Energien gültig und gibt die Bedingung einer von selbst eintretenden Energieveränderung an. Wird nämlich von außen keine Energie zugeführt, so kann E dem ersten Hauptsatze zufolge nicht größer werden. Jede von selbst eintretende Energieveränderung kann also nur darin bestehen, daß Energie abgegeben wird, oder mit anderen Worten: $e < E$. Der Gleichung 2 zufolge ist dies aber nur dann möglich, wenn $h < H$. Den zweiten Hauptsatz können wir demnach folgendermaßen formulieren:

Eine Veränderung der Energie tritt nur von selbst ein, wenn die Intensität der Energie abnehmen kann. Der Bruchteil der Energie, der sich dann umsetzen läßt, ist durch das relative Intensitätsgefäll der Energie bestimmt.

Aus der Gleich. 2 ersieht man ferner, daß $\frac{E-e}{E}$ nur dann gleich 1 wird, wenn $h = 0$. Damit eine gegebene Energiemenge sich vollständig transformieren läßt, muß also die Intensität derselben bis auf Null sinken können, was keineswegs immer möglich sein wird. Den Teil der Energie, der unter gegebenen Umständen umgewandelt werden kann, nennt man die *freie Energie*.

Daß eine Bewegung der Energie nur dann eintritt, wenn eine Abnahme der Intensität stattfinden kann, ist jedenfalls mit bezug auf die Wärme schon aus dem täglichen Leben bekannt. Die Wärme geht stets aus dem wärmeren in den kälteren Körper hinüber, und diese Bewegung ist davon ganz unabhängig, ob der wärmere Körper eine größere oder geringere Wärmemenge als der kältere enthält. Die Bewegung der Wärme braucht indes nicht von einer Umwandlung

der Energie begleitet zu sein. Wenn dies aber, wie z. B. in den Dampfmaschinen, stattfindet, so gilt die Gleichung 2, indem H die absolute Temperatur des Dampfes, h die des Kondensators bedeutet. — Ebenso verhält es sich mit der Elektrizität, die stets von der Stelle der höheren zur Stelle der niedrigeren Spannung strömt, und wenn die Körper dieselbe elektrische Spannung haben, hört die Bewegung auf. — Von der Umsetzung der chemischen Energie wird weiter unten die Rede sein.

Es muß beachtet werden, daß die Intensitäten der verschiedenen Energieformen nicht gleichwertig sind, nicht dieselben *Dimensionen* haben. Die Dimension einer Größe gibt ihre funktionelle Abhängigkeit von den fundamentalen Größen, von der Masse, der Länge und der Zeit an. Daß die Intensitäten der Energien nicht gleichartige Dimensionen haben, bedeutet also nur, daß sie verschiedene Funktionen von der Masse, der Länge und der Zeit sind, und deshalb nach verschiedenen Maßen zu messen sind.

Die Dimensionen der physikalischen Größen werden durch die sogenannten Dimensionsgleichungen angegeben. Um zu zeigen, wie diese bestimmt werden können, leiten wir hier einige der einfacheren Gleichungen ab. — Die Geschwindigkeit v ist wie bekannt $v = \frac{s}{t}$, wo s den zurückgelegten Weg, t die angewandte Zeit bedeutet. Da s eine Länge, l, und t eine Zeit ist, hat die Geschwindigkeit die Dimension:

$$[v] = l \cdot t^{-1}.$$

Ferner ist $v = gt$, wo g die Beschleunigung bedeutet. Hieraus folgt $g = \frac{v}{t}$, und die Dimension der Beschleunigung wird somit:

$$[g] = l \cdot t^{-2}.$$

Die Kraft k ist bestimmt durch $k = mg$, wo m die Masse bedeutet. Die Dimension der Kraft wird demnach:

$$[k] = m \cdot l \cdot t^{-2}.$$

Für die Arbeit oder Energie haben wir den Ausdruck $E = ks$, also ist:

$$[E] = m \cdot l^2 \cdot t^{-2}.$$

Da jede Energie aus Arbeit entstehen und daher auch als Arbeit gemessen werden kann, muß die Energie auch in allen ihren Formen die nämliche Dimension haben. Der Ausdruck auf der rechten Seite der Dimensionsgleichung kann aber auf sehr verschiedene Weise in Faktoren zerlegt werden; dadurch können die Intensitäts- und Kapazitätsfaktoren der verschiedenen Energien auch verschiedene Dimensionen erhalten.

Auf die Ableitung der Faktoren der Wärme können wir hier nicht eingehen; man findet die Dimension der Temperatur T:

$$[T] = m \cdot l^2 \cdot t^{-2}.$$

Die Temperatur ist somit eine Energie; die Entropie wird demnach eine reine Zahl.

Die Kraft, mit der zwei gleichgroße Elektrizitätsmengen e in der Entfernung s sich wechselseitig anziehen, ist bestimmt durch $k = \frac{e^2}{s^2}$ oder $e = s \cdot \sqrt{k}$. Folglich ist die Dimension einer Elektrizitätsmenge:

$$[e] = m^{\frac{1}{2}} \cdot l^{\frac{3}{2}} \cdot t^{-1}.$$

Die elektrische Energie ist das Produkt aus einer Elektrizitätsmenge und einem Potential u: $E = ue$ (vgl. S. 33). Der Intensitätsfaktor der elektrischen Energie hat somit die Dimension:

$$[u] = m^{\frac{1}{2}} \cdot l^{\frac{1}{2}} \cdot t^{-1}.$$

Diese Beispiele genügen, um zu zeigen, wie verschieden die Dimensionen der Intensitäts- und damit auch der Kapazitätsfaktoren sein können.

Bei wissenschaftlichen Messungen wird als Einheit der Masse die eines Grammstückes angewandt; die Einheit der Länge ist das Zentimeter, die der Zeit die Sekunde. Dieses Maßsystem wird das absolute g-cm-s-System genannt. In diesem System ist die Einheit der Kraft diejenige Kraft, die der Masse von 1 g die Beschleunigung 1 cm in der Sekunde gibt; diese Krafteinheit nennt man eine *Dyne*. Die Einheit der Arbeit oder der Energie ist dann gleich der Arbeit einer Dyne auf dem Wege 1 cm; diese Arbeitseinheit nennt man ein *Erg*. Auf analoge Weise sind die Maßeinheiten anderer physikalischen Größen, wie z. B. die der Elektrizitätsmenge, der Spannung usw., durch die Dimensionsgleichungen gegeben.

Im oben (S. 29—32) benutzten technischen Maßsystem, das wir auch im folgenden bei technischen Bestimmungen anwenden wollen, ist als Krafteinheit das Kilogrammgewicht genommen. Ein Kilogrammgewicht kann aber dieser Masse (1000 g) eine Beschleunigung von etwa 981 cm in der Sekunde erteilen; folglich ist ein Kilogrammgewicht $= 981 \cdot 10^3$ Dynen. Ein Kilogrammeter Arbeit wird dann $981 \cdot 10^3 \cdot 10^2 = 981 \cdot 10^5$ Erg.

Wenn Energie in unseren Maschinen oder in den Organismen umgewandelt wird, entsteht fast immer nicht nur e i n e andere Energie, sondern deren mehrere. In einem Elektromotor z. B. setzt sich die Elektrizität, in den Muskeln die chemische Energie teils in mechanische Arbeit, A, teils in Wärme, W, um, und dem ersten Hauptsatze zufolge ist die umgewandelte Energie $E = A + W$, vorausgesetzt, daß nur die genannten Energien auftreten. Den Bruchteil der Energie, der sich in äußere Arbeit umsetzt, also $\frac{A}{E}$, nennt man den *Wirkungsgrad*

oder *Nutzeffekt* der Maschine, weil die Maschinen wohl immer den Zweck haben, äußere Arbeit zu leisten. Mit bezug auf andere Aufgaben einer Maschine muß der Wirkungsgrad selbstverständlich anders berechnet werden. So haben die Muskeln z. B. auch die Aufgabe, die Wärme des Körpers konstant zu halten; hier kann man also von einem Wirkungsgrade mit bezug auf die Wärmeregulierung sprechen, und diese Größe wird $\frac{W}{E}$.

Wenn ein arbeitendes System, sei es eine Maschine, sei es ein Organ, sich während der Arbeit nicht verändert, so steht zu erwarten, daß die relativen Mengen der verschiedenen entwickelten Energien, $\frac{A}{E}$, $\frac{W}{E}$ usw., konstant bleiben, unabhängig von der Größe E der transformierten Energie. Wenn aber $\frac{A}{E} = c_1$, $\frac{W}{E} = c_2$ usw., so ist auch $\frac{A}{W} =$ konstant. Man kann dieses „Gesetz der konstanten Proportionen“ folgendermaßen formulieren:

Wenn ein arbeitendes System sich während der Arbeit nicht verändert, so ist das Verhältnis der durch die Umwandlung entstandenen verschiedenen Energien konstant.

Dieses Gesetz wird zumeist nur eine annähernde Gültigkeit haben, weil die Bedingung: die Unveränderlichkeit des Systems nur selten vollständig erfüllt werden kann. In vielen Fällen wird die entwickelte Wärme, die sich nicht sofort ableiten läßt und mithin das System erwärmt, eine wesentliche Veränderung desselben herbeiführen, so daß eine konstante Proportionalität der entwickelten Energien nicht besteht. In solchen Fällen dagegen, wo das System sich wirklich unverändert erhalten läßt, bewährt das Gesetz tatsächlich seine Gültigkeit [1]). Für diejenigen psychophysischen Vorgänge, die isotherm, ohne Erwärmung des Organs, verlaufen und den Organismus nicht ermüden, darf man daher auch das Gesetz als gültig annehmen. Die große Tragweite dieser Voraussetzung wird sich im folgenden zeigen.

Achtes Kapitel.

Die Umwandlung chemischer Energie.

Die mannigfaltigen Tätigkeiten der Organismen, die Lebensäußerungen, beruhen fast alle auf der Umsetzung der als

[1]) Lehmann: Elemente der Psychodynamik. Leipzig 1905. S. 16 u. f.

Nahrung aufgenommenen und weiter verarbeiteten chemischen Energie. Die biologischen Gesetze sind daher Spezialfälle der für die Umwandlung chemischer Energie geltenden Gesetze; eine Erörterung dieser letzteren wird daher hier am Platze sein.

Dem zweiten Hauptsatze zufolge kann eine wechselseitige chemische Einwirkung zweier Stoffe ohne Zuführung äußerer Energie nur stattfinden, indem die Affinität, die Intensität der chemischen Energie, abnimmt. Es kann also dann eine Arbeit geleistet werden; die Energie setzt sich in mehrere Formen um und tritt als Wärme, als äußere Arbeit und als innere molekulare Veränderungen auf. Die äußere Arbeit, die fast immer in der Überwindung des Atmosphärendruckes besteht und mithin sehr klein ist, kann leicht als Wärme berechnet werden; die Summe dieser Größe und der gemessenen Wärmemenge nennt man die *Wärmetönung* des chemischen Vorganges. Die Wärmetönung ist aber, wie gesagt, nicht die ganze geleistete Arbeit, was wohl am deutlichsten daraus hervorgeht, daß sie in vielen Fällen negativ ist. Es wird also dann Wärme gebunden, und die bei der Umwandlung der chemischen Energie geleistete Arbeit muß somit in inneren Veränderungen bestehen. Durch ein Bild läßt sich die Sache erläutern.

Da ein Stoff, der unter gegebenen Umständen chemisch tätig werden kann, einen Arbeitsvorrat enthält, können wir diesen Stoff als ein Gewicht in bestimmtem Abstand von der Erde darstellen. Dieses Gewicht denken wir uns von einem schweren eisernen Balken *af* (Fig. 2) und einem System elastischer Stahlstangen, *ab*, *bc*, *cd*, *dc* und *ef*, zusammengesetzt, und die ganze trägerartige Vorrichtung ruht auf der kleinen Endfläche *ef*. Die Lageenergie des Systems ist gleich dem Produkte aus dem Gewichte und der Höhe des Schwerpunktes. Wird das System durch einen Stoß in der Richtung des Pfeiles zum Umkippen gebracht, nimmt es die liegende Stellung ein, und die durch das Sinken des Schwerpunktes geleistete Arbeit tritt in verschiedenen Formen auf. Ein sehr geringer Teil der Arbeit wird dazu gebraucht, die Luft in Bewegung zu setzen. Ein weitaus größerer Teil wird durch den Stoß gegen den Boden in Wärme umgewandelt, und der Rest wird als Formenergie aufgehoben, indem das elastische System der Stahlstäbe durch den Druck des Balkens gespannt wird. Die Summe der beiden ersteren Teile repräsentiert die Wärmetönung eines chemischen Vorganges; die ganze geleistete Arbeit ist aber gleich der Wärmetönung um

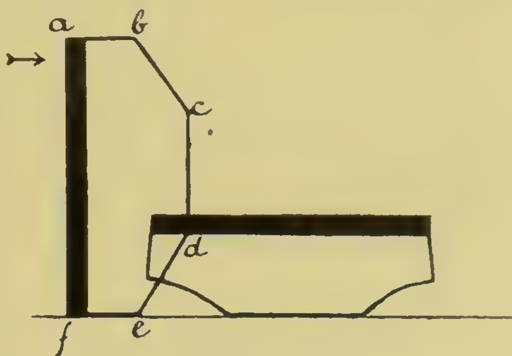


Fig. 2.

die innere Spannung des Systems vermehrt. Nur die erstere wird nach außen abgegeben, die letztere wird im System aufgehoben und kann unter andern Umständen, z. B. wenn man den Balken wieder heben will, Arbeit leisten.

In Analogie mit diesem konstruierten Falle muß man sich die Verhältnisse beim chemischen Vorgang vorstellen. Die tatsächlich geleistete Arbeit, die Änderung der freien Energie, ist die Summe der Wärmetönung und der inneren Arbeit, deren Größe gewöhnlich nicht bekannt sein wird. Sie steht aber in keinem konstanten Verhältnis zur Wärmetönung, so daß die letztere nicht als ein relatives Maß der Affinität gebraucht werden kann. Die Bedeutung dieser inneren Arbeit für den Ablauf der chemischen Vorgänge läßt sich aber, wie wir im folgenden sehen werden, genau feststellen; hier betrachten wir erst die für die Wärmetönung geltenden Gesetze.

Die Wärmetönung eines chemischen Vorganges kann sowohl negativ als positiv sein. Im letzteren Falle wird Energie nach außen abgegeben, und der Vorgang wird *exotherm* genannt; im ersteren Falle wird Wärme aufgenommen und gebunden, und den Vorgang nennt man *endotherm*. Die entwickelte oder aufgenommene Wärmemenge ist bei einem gegebenen Prozeß den reagierenden Stoffmengen proportional. Die Wärmetönung wird daher in Grammkalorien (cal) pro Gewichteinheit des Stoffes angegeben. Der Einfachheit wegen gebraucht man für jeden Stoff eine besondere Gewichteinheit, nämlich eine Grammolekel oder kürzer ein *Mol*, d. h. eine Anzahl von Grammgewichten, die numerisch gleich dem Molekulargewicht des betreffenden Stoffes ist. Diese Einheit findet auch außerhalb der Kalorimetrie Anwendung; so wird z. B. die Konzentration einer Lösung gewöhnlich in Mol pro Liter angegeben.

Da beim exotherm verlaufenden Vorgang Energie nach außen abgegeben wird, kann der umgekehrte Vorgang nur unter Zuführung der betreffenden Wärmemenge zustande kommen. Nehmen wir als Beispiel die Verbindung des Wasserstoffs mit dem Sauerstoff. Man findet: $O_2 + 2 \cdot H_2 = 2 \cdot OH_2 + 2 \cdot 67\,000$, d. h. 1 Mol Sauerstoff verbindet sich mit 2 Mol Wasserstoff zu 2 Mol Wasser unter Entwicklung von $2 \cdot 67\,500$ cal. Deshalb erfordert die betreffende Menge Wasser dieselbe Wärmemenge, um wieder in Sauerstoff und Wasserstoff zu zerfallen. Kann umgekehrt eine Verbindung nur endotherm, unter Bindung von Wärme, zustande kommen, so wird sie diese Energie ab-

geben, wenn sie sich wieder zersetzt. In biologischer Beziehung sind diese Tatsachen von der größten Bedeutung; es wird davon im folgenden Abschnitte eingehend die Rede sein.

Die erwähnten Verhältnisse sind, wie leicht ersichtlich, einfache Folgen des ersten Hauptsatzes, nach welchem Energie weder verschwinden noch aus nichts entstehen kann. Geht daher der Zustand B eines chemischen Systems aus einem Zustand A unter Abgabe von Energie hervor, so kann B nur unter Zuführung derselben Energiemenge auf A zurückgeführt werden. Diese Tatsache läßt sich noch in einer anderen Form von großer Tragweite ausdrücken. Wenn der Übergang von A in B und umgekehrt auf zwei verschiedenen Wegen stattfinden kann, so muß in beiden Fällen dieselbe Wärmemenge abgegeben bzw. aufgenommen werden. Wäre dies nämlich nicht der Fall, so würde Energie aus nichts entstehen. Man könnte dann einfach B auf dem Wege in A überführen, der am wenigsten Energie erforderte, und darauf A auf dem Wege in B übergehen lassen, wo am meisten Energie abgegeben würde. Das System würde dann seinen Anfangszustand mit einem Gewinn an Energie erreichen, was unmöglich ist. Dieses von der Erfahrung völlig bestätigte „Gesetz der konstanten Wärmesummen“ können wir folgendermaßen formulieren:

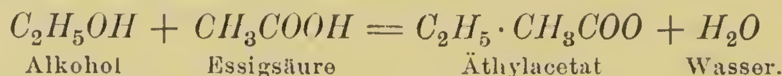
Geht ein chemisches System aus einem Zustand in einen anderen über, so ist die Summe der hierdurch erhaltenen Wärmetönungen konstant, unabhängig von dem Wege, auf dem es aus dem einen in den anderen Zustand übergeführt wird.

Aus dem angeführten Gesetz ergibt sich eine in sehr vielen Fällen anwendbare Methode, um Wärmetönungen zu ermitteln, die sich nicht direkt bestimmen lassen. Kann der Zustand A nicht direkt in den Zustand B übergehen, so kann man A in C und C in B überführen; die Summe der gemessenen Wärmetönungen ist dann gleich der Wärmetönung des Überganges von A in B. Bezeichnen wir die Wärmetönung beim Übergang des Zustandes A in den Zustand B durch (A, B), so haben wir also: $(A, C) + (C, B) = (A, B)$. Nun haben wir schon oben gesehen, daß der Übergang von C in B und von B in C numerisch gleiche Wärmetönungen mit entgegengesetztem Vorzeichen ergeben müssen, oder $(C, B) = -(B, C)$. Läßt sich also nicht C in B überführen, während der umgekehrte Vorgang möglich ist, so bestimmt man (B, C) und hat dann: $(A, C) - (B, C) = (A, B)$.

In der organischen Thermochemie spielt diese Methode

eine große Rolle, indem man einfach die Stoffe verbrennt und die dabei auftretenden Wärmetönungen mißt. Aus den so bestimmten Verbrennungswärmen können die Wärmetönungen anderer Vorgänge berechnet werden.

Beispiel: Äthylalkohol und Essigsäure verbinden sich zu Äthylacetat und Wasser nach der Gleichung:



$$\underset{\text{Alkohol}}{C_2H_5OH} + \underset{\text{Essigsäure}}{CH_3COOH} = \underset{\text{Äthylacetat}}{C_2H_5 \cdot CH_3COO} + \underset{\text{Wasser.}}{H_2O}$$

Die Reaktion verläuft sehr langsam, und die Wärmetönung ist nur klein, so daß sie sich schwierig bestimmen läßt. Man berechnet sie daher besser aus den Verbrennungswärmen der reagierenden Stoffe. Diese Größen, pro Mol berechnet, sind: Äthylalkohol = 340 000 cal, Essigsäure = 210 000 cal, Äthylacetat = 554 000 cal. Die Wärmetönung, die bei der Verbindung des Alkohols mit Essigsäure entsteht, wird hiernach: 340 000 + 210 000 — 554 000 = — 4000 cal.

Die Wärmetönung einer chemischen Reaktion entspricht, wie oben hervorgehoben, keineswegs der vollständigen, maximalen Arbeit, die von den reagierenden Stoffen geleistet wird. Die Bestimmung dieser Größe, der tatsächlichen Verminderung der freien Energie, ist mit besonderen Schwierigkeiten verbunden und bis jetzt wohl kaum bei irgend einem Vorgange durchgeführt. Dagegen läßt es sich auf theoretischem Wege, worauf wir hier nicht eingehen können, nachweisen, wie unter der Voraussetzung, daß die maximale Arbeit geleistet wird, eine gesetzmäßige Beziehung zwischen den Mengen der reagierenden, sich verbindenden oder zersetzenden Stoffe bestehen muß [1]). Dieses „Gesetz der chemischen Massenwirkung", das sich durch die chemischen Untersuchungen völlig bestätigt hat, spielt auch in allgemein-biologischer und besonders in psychologischer Beziehung eine so große Rolle, daß wir etwas näher darauf eingehen müssen.

Wenn p Moleküle des Stoffes A und q Moleküle des Stoffes B zusammentreffen und sich zu r Molekülen des Stoffes C und s Molekülen des Stoffes D umsetzen, so besteht also die Gleichung:

$$p \cdot A + q \cdot B = r \cdot C + s \cdot D.$$

Eine solche Reaktion verläuft nun keineswegs immer vollständig, so daß schließlich die ganze Menge von A und B verschwindet, um den gebildeten Verbindungen C und D Platz zu machen. Eine solche vollständige Reaktion kommt eigent-

---

[1]) Nernst: Theoretische Chemie. 2. Aufl. Stuttgart 1898. S. 592 u. f.

lich nur dann vor, wenn die Mischung der Stoffe *inhomogen* wird, indem eine der entstandenen Verbindungen entweder gasförmig oder fest wird, so daß sie sich aus der Lösung ausscheidet. Bleibt das Gemisch der vier Stoffe dagegen *homogen*, so erreicht es schließlich einen Gleichgewichtszustand, wo sämtliche vier Stoffe in bestimmten Mengenverhältnissen vorhanden sind. Der nämliche Zustand wird immer erreicht ohne Rücksicht darauf, ob von Anfang an nur A und B oder nur C und D in den bestimmten Mengenverhältnissen gemischt waren. Dies heißt mit andern Worten, daß die Reaktion ebenso wohl von rechts nach links wie von links nach rechts verläuft, bis der Gleichgewichtszustand eingetreten ist. Eine solche Reaktion nennt man *umkehrbar*, und daß die obige Reaktion umkehrbar ist, wird dadurch bezeichnet, daß man schreibt:



$$p \cdot A + q \cdot B \rightleftarrows r \cdot C + s \cdot D.$$

Haben die vier Stoffe, A, B, C und D, im Gleichgewichtszustande die Konzentrationen a, b, c und d, so besteht zwischen diesen Größen die folgende Gleichung:

$$K \cdot a^p \cdot b^q = K_1 \cdot c^r \cdot d^s \quad \ldots\ldots\ldots \text{(Gl. 3)},$$

wo K und K_1, zwei Konstanten, die sogenannten *Geschwindigkeitskoeffizienten*, sind. Sie sind nur von der Temperatur abhängig, indem sie mit wachsender Temperatur gewöhnlich schnell wachsen; bei konstanter Temperatur sind die Koeffizienten für die betreffende Reaktion konstant. Das Verhältnis $\frac{K}{K_1}$ läßt sich bestimmen, wenn man nur die anfänglichen Mengen der Stoffe im Gemisch kennt, und im Gleichgewichtszustande die Menge eines Stoffes, die verschwunden bzw. gebildet worden ist, bestimmt. Zur Beleuchtung der Sache nehmen wir, um zu komplizierte Formeln zu vermeiden, nur den Fall, wo ein Molekül jedes Stoffes in die Reaktion eingeht; in Gleich. 3 ist dann $p = q = r = s = 1$ zu setzen.

Es seien nun a_0, b_0, c_0 und d_0 die Anzahl Mole jedes Stoffes, die anfangs gemischt werden, v das Volum der Mischung und x die Anzahl Mole des Stoffes A, die sich mit derselben Anzahl Molen des Stoffes B vereinigt hat, wenn der Gleichgewichtszustand erreicht ist. Dann sind die Konzentrationen der vier Stoffe:

$$a = \frac{a_0 - x}{v}, \quad b = \frac{b_0 - x}{v}, \quad c = \frac{c_0 + x}{v}, \quad d = \frac{d_0 + x}{v}.$$

Es haben sich nämlich ebenso viele Mole der Stoffe C und D gebildet, wie von den Stoffen A und B verschwunden sind. Werden diese Werte in die Gleichung 3 eingesetzt, nimmt sie die Form an:

$$K \cdot (a_0 - x) \cdot (b_0 - x) = K_1 \cdot (x + c_0) \cdot (x + d_0) \text{ oder:}$$

$$\frac{K}{K_1} = \frac{(x + c_0) \cdot (x + d_0)}{(a_0 - x) \cdot (b_0 - x)} \quad \ldots\ldots\ldots \text{(Gl. 4)}.$$

Wird also in einem Versuche x bestimmt, so läßt sich $\frac{K}{K_1}$ aus der Gleich. 4 berechnen, und wenn diese Größe einmal bestimmt ist, kann wiederum x für gegebene Werte a_0, b_0, c_0 und d_0 berechnet werden. Aus Gleich. 4 ist ersichtlich, daß *die sich verbindenden Mengen*, x, *der reagierenden Stoffe, und damit auch die hierdurch bestimmten Konzentrationen der Stoffe im Gleichgewichtszustande* (a, b, c, d) *variieren, sobald nur eine der anfänglichen Mengen des Gemisches* a_0, b_0, *usw. verändert wird.*

Als Beispiel betrachten wir die oben besprochene Reaktion zwischen Alkohol und Essigsäure. Mischt man äquivalente Mengen der Stoffe, 1 Mol Alkohol (46 g) und 1 Mol Essigsäure (60 g), so hat im Gleichgewichtszustande das Reaktionsgemisch die Zusammensetzung:

$\frac{1}{3}$ Mol Alkohol + $\frac{1}{3}$ Mol Essigsäure + $\frac{2}{3}$ Mol Äthylacetat + $\frac{2}{3}$ Mol Wasser.

Genau dieselbe Mischung erhält man schließlich, wenn 1 Mol Äthylacetat (88 g) und 1 Mol Wasser (18 g) gemischt werden. Diese Reaktion ist also umkehrbar. Mittels Gleich. 4 läßt sich $\frac{K}{K_1}$ berechnen, indem man z. B. von der Mischung äquivalenter Teile des Alkohols und der Essigsäure ausgeht. Da $\frac{2}{3}$ Mol Alkohol sich mit ebensoviel Essigsäure verbunden hat, wenn der Gleichgewichtszustand erreicht ist, so erhält man, indem in die Gleich. 4 $a_0 = 1$, $b_0 = 1$, $c_0 = 0$, $d_0 = 0$ und $x = \frac{2}{3}$ gesetzt wird: $\frac{K}{K_1} = 4$. Setzt man diesen Wert in Gleich. 4 hinein, ergibt sich hieraus der Wert des x und damit die Zusammensetzung der Mischung im Gleichgewichtszustande für beliebige Größen des a_0, b_0 usw.

Weil ein Gemisch sich im Gleichgewichtszustande befindet, ist deshalb nicht jede chemische Umwandlung aufgehört. Dieser Zustand darf nicht als ein statischer aufgefaßt werden; er ist vielmehr ein dynamischer, indem die beiden entgegengesetzten Reaktionen fortwährend, aber mit gleicher Geschwindigkeit verlaufen, so daß der Zustand sich nicht verändert. Ist die Reaktion vollständig bekannt, läßt sich die im Gleichgewichtszustande stattfindende Umsetzung pro Zeiteinheit berechnen,

worauf wir hier nicht näher einzugehen brauchen [1]. Es findet also tatsächlich stets eine Umwandlung der Stoffe statt, und werden durch äußere Eingriffe die Mengenverhältnisse der sich bei der Reaktion beteiligenden Stoffe verändert, so nähert sich das Gemisch, wie eben dargelegt, einem neuen Gleichgewichtszustande. Die Geschwindigkeit, mit der die Reaktionen verlaufen, ist bei konstanter Temperatur von der Natur und der Konzentration der reagierenden Stoffe und der Anzahl der sich verbindenden Moleküle abhängig. Die Beziehung ist recht kompliziert; im allgemeinen läßt sich sagen, daß die Reaktionsgeschwindigkeit um so größer ist, je mehr das Gemisch vom Gleichgewichtszustande entfernt ist [2]. Um die Sache näher zu beleuchten, betrachten wir ein paar einfache Grenzfälle, die besonders psychophysiologische Bedeutung haben.

Verbinden sich zwei Stoffe, von denen der eine in so großer Menge vorhanden ist, daß seine Konzentration sich nicht merklich verändern kann, so erhält man für die Zeit t, die eine Abnahme der Konzentration des anderen Stoffes von a_0 bis auf a_t beansprucht, den folgenden Ausdruck:

$$t = \frac{1}{K} ln \cdot \frac{a_0}{a_t} \quad \text{. . . . .(Gl. 5).}$$

Hier bedeuten K den Geschwindigkeitskoeffizienten der Reaktion, ln den natürlichen Logarithmus. Sind die beiden reagierenden Stoffe dagegen anfangs in äquivalenten Mengen vorhanden, so ist also $a_0 = b_0$; nach dem Verlauf der Zeit t sind die Konzentrationen auf $a_t = b_t$ abgenommen, und die zu dieser Veränderung nötige Zeit t wird:

$$t = \frac{1}{K} \cdot \frac{a_0 - a_t}{a_0 a_t} \quad \text{. . . . . (Gl. 6).}$$

Ist die bei der Reaktion umgewandelte Stoffmenge x ein bestimmter Bruchteil, α, der anfänglichen Stoffmenge, also $x = \alpha \cdot a_0$, so ist die nach Verlauf der Zeit t übrige Menge $a_t = a_0 \cdot (1 - \alpha) = q \cdot a_0$. Setzen wir diesen Wert des a_t in die Gleich. 5 und 6 hinein, erhalten wir:

$$t = \frac{1}{K} \cdot ln \frac{1}{q} \quad \text{. . . . . (Gl. 5 a) und} \quad t = \frac{1-q}{K \cdot q} \cdot \frac{1}{a_0} \quad \text{. . . . (Gl. 6 a).}$$

---

[1] Nernst. a. a. O. S. 539.

[2] Nernst, a. a. O. S. 504 u. f.

Die umgesetzte Stoffmenge $x = \alpha \cdot a_0$ ist um so größer, je größer die anfängliche Konzentration a_0 ist. Die Zeit t aber, die die Umsetzung dieser Stoffmenge in Anspruch nimmt, ist im ersten Falle (Gleich. 5 a) konstant, im zweiten Falle (Gleich. 6 a) sogar dem a_0 umgekehrt proportional. *Die Geschwindigkeit, mit der die Reaktion sich dem Gleichgewichtszustande nähert, ist mithin um so größer, je mehr der Anfangszustand vom Gleichgewichtszustande abweicht.* Dasselbe gilt auch für kompliziertere Reaktionen als die hier behandelten. Jede Störung eines chemischen Gleichgewichts wird also zur Folge haben, daß die reagierenden Stoffe sich wieder einem Gleichgewichtszustande nähern und um so schneller, je größer die Störung ist. Die große biologische Bedeutung dieser Tatsache wird sich gleich im folgenden zeigen.

III. Das Leben und die Lebensäußerungen.

Neuntes Kapitel.

Die lebendige Substanz.

Wird die Frage erhoben, welche Erscheinungen dem Leben eigentümlich sind, so zeigt schon eine oberflächliche Betrachtung, daß ein lebendiges Wesen eine Einheit ist, die sich gewöhnlich nicht teilen läßt, ohne daß die Teile und oft zugleich das Wesen selber zugrunde gehen. Zwar gibt es lebendige Wesen, zahlreiche Pflanzen und einige Tiere, wie z. B. die Süßwasserpolypen (Hydra fusca), die sich so teilen lassen, daß jeder Teil sein Leben fortsetzen kann; die Teile entwickeln sich aber dann schnell zu vollständigen Individuen derselben Art, und jeder derselben ist somit wieder eine Einheit[1]). Betrachtet man die Einheiten näher, die die Reihe der lebendigen Wesen bilden, so ist es leicht ersichtlich, daß sie äußerst verschiedener Komplikation sind. Während einige derselben aus zahlreichen Organen zusammengesetzt sind, deren jedes seine besondere Funktion hat, bestehen andere dagegen aus einer fast gleichartigen Masse. Hieraus geht hervor, daß das Leben nicht von einer Zusammenwirkung verschiedenartiger Organe bedingt sein kann. Um den Bedingungen

[1]) Verworn: Allgemeine Physiologie. 4. Aufl. Jena 1903, S. 61. Diese Arbeit ist der folgenden Darstellung zugrunde gelegt.

des Lebens nachzuspüren, muß man daher das am wenigsten zusammengesetzte Individuum, das das Leben freilebend erhalten kann, untersuchen. Dieser *Elementarorganismus ist die Zelle.*

Die Zelle besteht aus einer weicheren Masse, dem *Protoplasma,* und einer festeren, dem *Kern*; diese beiden können nicht von einander getrennt werden, ohne daß das Leben erlöscht. Aus Zellen sind alle komplizierteren Organismen zusammengesetzt; die einzelnen Zellen sind dann von einer Membran umgeben. Etwas Wesentliches, für das Leben Unentbehrliches, kann diese Membran jedoch nicht sein, denn es gibt freilebende, einzellige Organismen (die Rhizopoden), die keine Membran besitzen. Das Protoplasma ist eine dickflüssige, schleimartige Masse, die jedoch keineswegs völlig gleichartig, homogen ist; der Kern ist fester und besteht ebenfalls aus verschiedenen Substanzen. In chemischer Beziehung ist die lebendige Substanz gewöhnlich nur aus den 12 Elementen: *C, N, H, O, S, P, Cl, K, Na, Mg, Ca, Fe* zusammengesetzt; ausnahmsweise können einzelne andere vorkommen. Die aus den genannten Grundstoffen bestehenden Verbindungen, die die lebendige Substanz bilden, sind indes äußerst kompliziert. Ihre chemische Konstitution läßt sich schwerlich bestimmen, weil die lebendige Substanz durch jede chemische Einwirkung sofort getötet wird. Wenn sie lebendig ist, reagiert sie entweder alkalisch oder neutral, im toten Zustande dagegen sauer. Außerdem geht sie mit dem Tode in einen anderen Aggregatzustand über, sie koaguliert, wird fest. Die lebende Substanz enthält also sicher andere Verbindungen als die tote, und die Verbindungen sind außerdem höchst wahrscheinlich noch komplizierter, indem der Stoff durch chemische Einwirkungen zersetzt wird.

Die lebendige Substanz läßt sich also tatsächlich nur nach dem Tode chemisch untersuchen, aber auch in diesem Zustande zeigt sich das Protoplasma aus äußerst komplizierten Verbindungen bestehend, aus Eiweißstoffen verschiedener Art, deren Moleküle Tausende von Atomen enthalten. Die Moleküle sind polymerisiert, indem sie sich durch bestimmte chemische Einwirkungen in Peptone, die aber selbst Eiweißstoffe sind, umsetzen lassen. Polymere Moleküle zerfallen indes sehr leicht, wenn sie eine gewisse Größe erreicht haben, und in der lebendigen Substanz sind die Moleküle daher, aller Wahrscheinlichkeit nach, noch höher polymerisiert als im toten

Protoplasma, das sich chemisch untersuchen läßt. Die lebendigen Eiweißstoffe nennt man die *Biogene.*

Zwischen den Organismen und den unorganischen Stoffen läßt sich eine ganze Reihe von Unterschieden der Form, der Entstehung und der physikalischen Verhältnisse nachweisen; keiner dieser Unterschiede ist aber wesentlich. Wählt man besonders die Kristalle, um sie mit den Organismen zu vergleichen, so kann man allerdings sehr bedeutende Unterschiede nachweisen; man hat aber dann auch die Formen der unorganischen Welt, die am meisten abweichen, hervorgehoben. Betrachtet man dagegen unorganische Körper derselben Aggregationsform wie die des Elementarorganismus, so besteht mit bezug auf die *Form* kein Unterschied. Die einzellige Amöbe unterscheidet sich in dieser Beziehung gar nicht von einer beliebigen unorganischen Schleimmasse. Die *Fortpflanzung* der Zelle ist auch nichts besonders Merkwürdiges, indem sie sich einfach teilt; ein Quecksilbertropfen kann sich auch teilen, und jeder Teil wird ein neuer Tropfen. In betreff des *Wachstums* zeigt sich wieder ein bedeutender Unterschied zwischen einer Zelle und einem Kristall, indem die erstere durch Einlagerung (Intussuception), der letztere dagegen durch Auflagerung (Apposition) des neuen Stoffes wächst. Wir werden aber später sehen, daß die Einlagerung durchaus nicht ausschließlich bei den Zellen vorkommt; man kann sehr leicht unorganische Wachstumserscheinungen zustande bringen, die denjenigen der Elementarorganismen ganz analog sind. Die *Bewegung* der Organismen kann auch nicht als ein durchgreifender Unterschied aufgestellt werden, denn erstens kommen ja auch Bewegungen in der unorganischen Welt vor, und zweitens gibt es zahlreiche Organismen, die keine Bewegungen ausführen, ohne daß sie deshalb tot sind, z. B. Pflanzensamen. Daß die Ursachen der Bewegungen sowie der übrigen Veränderungen der Organismen von innen kommen, während die Veränderungen der unorganischen Körper gewöhnlich durch äußere Kräfte verursacht werden, ist auch kein wesentlicher Unterschied. Die Bewegung einer Dampfmaschine wird doch ebenfalls von inneren Kräften bewirkt; der Maschine muß allerdings von außen her Kohle zugeführt werden, aber ohne Nahrung können die Organismen auch nicht leben. Die sogenannte *Irritabilität* läßt sich auch nicht als etwas für die Organismen Charakteristisches aufstellen, denn jeder unorganische Stoff reagiert ebenfalls, seiner Natur gemäß, auf äußere Reize.

Der einzige durchgreifende und entscheidende Unterschied zwischen unorganischen Körpern und Organismen ist der chemische; *die lebendige Substanz enthält immer Eiweißstoffe, und diese finden sich sonst nirgendwo.* Es läßt sich also einfach feststellen: *Das Leben ist die eigentümliche Reaktionsweise gewisser höchst komplizierter Eiweißstoffe, der Biogene. Während die Reaktionen, die das Leben charakterisieren, sonst auch unter verschiedenen Umständen bei den unorganischen Stoffen hervortreten, insgesamt aber nie bei einem einzigen dieser Stoffe, so bildet die Gesamtheit dieser Reaktionen eben, was man Leben nennt.*

Solange ein Organismus lebt, unterliegt er im allgemeinen einer Reihe Stoffveränderungen, dem Stoffwechsel, der von Form- und Energieveränderungen begleitet ist. Von diesen verschiedenen „Lebensäußerungen“ wird gleich unten die Rede sein. Hier ist nur hervorzuheben, daß die Lebensäußerungen zeitweilig aussetzen können, ohne daß der Organismus dadurch für immer die Fähigkeit verliert, jene charakteristische Reihe von Veränderungen fortzusetzen. Die Pflanzensamen und einige Tiere, z. B. Rädertierchen und Bärentierchen, höhere Tiere mit Nervensystem können im eingetrockneten Zustande jahrelang liegen, ohne die Spur von Lebensäußerungen zu zeigen; kommt dann die nötige Feuchtigkeit hinzu, leben sie wieder auf. Sie sind also in diesem Zustande nicht tot, sondern nur scheintot; es fehlen nur die äußeren, nicht die inneren Lebensbedingungen, die Biogene sind unversehrt. Wenn die Biogene dagegen dekomponiert werden, in einfachere Verbindungen zerfallen, so erlöschen damit die inneren Bedingungen des Lebens, und der Organismus stirbt.

Zehntes Kapitel.

Der Stoffwechsel.

Wir sahen oben (S. 42), daß die chemischen Umsetzungen keineswegs aufhören, selbst wenn der Gleichgewichtszustand eingetreten ist. Es finden im Gegenteil fortwährend Umwandlungen statt, indem die komplizierteren Moleküle zerfallen und neue sich bilden. Die lebendige Substanz macht hiervon keine Ausnahme; sie unterliegt demselben Gesetze des Zerfalles und des Wiederaufbaues. Ihre höchst komplizierten Moleküle zersetzen sich fortwährend durch die Einwirkung der Umgebung, und es müssen folglich auch im um-

gebenden Medium Stoffe vorhanden sein, mittels welcher die Biogene sich regenerieren können, wenn das Leben überhaupt möglich sein soll. Diese Stoffe bilden die *Nahrung* des Organismus. Zwischen den Pflanzen und den Tieren besteht, rücksichtlich der Nährstoffe, der große Unterschied, daß die ersteren fast ausschließlich unorganische Stoffe, Kohlensäure, Wasser und verschiedene Salze, aufnehmen, während die letzteren organische Verbindungen von hoher Affinität erfordern. Von den wenigen unorganischen Verbindungen, die die Tiere nötig haben, findet sich die genügende Menge fast immer in der organischen Nahrung. Die Tiere sind also von den Pflanzen abhängig, indem nur diese letzteren aus unorganischen Stoffen die Nahrung der Tiere herstellen können. Die erste nachweisbare organische Verbindung, die die Pflanzen aus Kohlensäure und Wasser, unter Ausscheidung von Sauerstoff, darstellen, ist die Stärke ($6 \cdot CO_2 + 5 \cdot OH_2 = C_6O_5H_{10} + 6 \cdot O_2$). Da die Stärke unter Wärmeentwicklung zu Kohlensäure und Wasser verbrennt, kann sie also aus diesen Stoffen nur mittels Zufuhr von Energie entstehen. Diese Energie erhalten die Pflanzen vom Sonnenlichte, indem das Blattgrün, Chlorophyll, rote, orange, gelbe und fast alle blauen und violetten Strahlen absorbiert. Für die chemische Umwandlung in den Blättern sind doch hauptsächlich die langwelligen Strahlen von Bedeutung, da diese eine weit größere Energie (Wärmewirkung) besitzen.

Außer der Nahrung haben alle Organismen Sauerstoff nötig, der sich mit den Biogenen verbindet, um wieder schließlich als Kohlensäure ausgeschieden zu werden. Dieser Vorgang ist die *Atmung;* ohne Atmen kann kein lebendiges Wesen bestehen. Hierauf kommen wir weiter unten zurück.

Die Nährstoffe können sowohl gasförmig als flüssig und fest sein. Die erstgenannten werden resorbiert, was in Zellen ohne Membran leicht geschehen kann; ist die Zelle mit einer Membran ausgestattet, müssen die Luftarten von einer Flüssigkeit absorbiert werden, damit sie durch die Membran hindurch diffundieren können. Feste Nährstoffe werden nur selten von isolierten Zellen aufgenommen; es kommt jedoch bei den Rhizopoden, verschiedene Infusorien und den weißen Blutkörperchen (Leukocyten) höherer Organismen vor. Betrachten wir diese verschiedenen Fälle etwas näher.

Feste Nahrung wird von einer Zelle ohne Membran auf die Weise aufgenommen, daß die Zelle einfach den Körper

umschließt. Das Protoplasma schießt lappige Pseudopodien hervor, die den Nährstoff umfließen, bis er schließlich vom Protoplasma umgeben ist. So findet die Nahrungsaufnahme bei den Amöben und Leukocyten statt. Ist die Zelle dagegen von einer Membran umgeben, kann sie geformte Nährstoffe nur durch den Zellmund, eine kleine Öffnung, die den Eintritt ins Protoplasma gestattet, aufnehmen. Auf diese Weise wird die Nahrung von verschiedenen Infusorienarten aufgenommen. Solche Teile der aufgenommenen Körper, die sich nicht verdauen lassen, d. h. die zum Aufbau der Biogene nicht dienlich sind, werden wieder ausgestoßen. Dieser Vorgang scheint eine besondere „Lebenstätigkeit" zu sein, die mit einem chemischen Prozeß keine Ähnlichkeit hat. In der Tat handelt es sich hier, sowohl bei der Aufnahme der Nahrung als bei der Entfernung der unbrauchbaren Reste, nur um ein Zusammenwirken der chemischen und der Oberflächenenergie.

Wie Rhumbler nachgewiesen hat, läßt sich der ganze Vorgang der Nahrungsaufnahme und der Ausscheidung unbrauchbarer Reste leicht mittels anderer Stoffe nachahmen [1]). So verhält sich ein Chloroformtropfen im Wasser einem mit Schellack überzogenen Glasfaden gegenüber genau wie eine Amöbe, deren Protoplasma einen Nährkörper umfließt. Die Adhäsion des Chloroforms zum Schellack ist größer als die des letzteren zum Wasser; deshalb wird der gefirnißte Glasfaden vom Chloroform aufgenommen. Wenn die dünne Schellackrinde vom Chloroform aufgelöst worden ist, dann wird der Glasfaden vom Chloroformtropfen wieder ausgeschieden, weil die Adhäsion zwischen Glas und Wasser größer ist als zwischen Glas und Chloroform. Weil das Protoplasma sich sowohl in physikalischer als in chemischer Beziehung dem Nährkörper und dem unverdaulichen Reste desselben gegenüber ganz verschieden verhält, so ist es gar nicht merkwürdig, daß erstere aufgenommen, letztere wieder ausgeschieden wird.

Bei der Aufnahme flüssiger oder in Flüssigkeiten gelöster gasförmiger Nahrung wirken ebenfalls physikalische und chemische Kräfte zusammen. Die Moleküle eines gelösten Stoffes verhalten sich wie die Moleküle eines Gases, indem sie sich über den möglichst großen Raum verbreiten. Bringt man daher in eine Lösung eine von einer durchdringlichen (permeablen) Wand umgebene Flüssigkeit hinein, so diffundiert der gelöste Stoff durch diese Wand, wenn er sich entweder

[1]) Physikalische Analyse von Lebenserscheinungen. Archiv für Entwicklungsmechanik. Bd. 7. 1898.

in der eingeschlossenen Flüssigkeit auflösen oder mit derselben chemisch verbinden kann. Handelt es sich nur um eine Auflösung des durch die Wand hindurchdringenden Stoffes, so wird Gleichgewicht eintreten, wenn die Konzentration des Stoffes innerhalb und außerhalb der Wand die gleiche Größe erreicht hat. Wird der diffundierende Stoff dagegen chemisch gebunden, so ist die Konzentration des Stoffes innerhalb der Wand gleich Null, und die Diffusion dauert fort, bis innerhalb der Wand chemisches Gleichgewicht, und auf beiden Seiten der Wand Gleichgewicht der Konzentration eingetreten ist. Auf diese Weise sind die Biogene imstande, eine Nahrungsflüssigkeit fast vollständig zu erschöpfen, und in den zusammengesetzten Organismen können recht sonderbare Wirkungen dadurch erzielt werden. So binden z. B. die Lungenzellen den Sauerstoff der in die Lungen eindringenden atmosphärischen Luft chemisch und geben ihn wieder an das Blut ab [1]). Dadurch wird es möglich, daß der Druck des Sauerstoffs im Blute größer wird als in der Lungenluft. Dies würde unmöglich sein, wenn der Sauerstoff einfach ins Blut hinein diffundierte, denn eine Bewegung von den Orten mit niederem zu den Orten mit höherem Druck kann ohne Zufuhr von Energie nicht stattfinden.

Wie die besprochenen Lebenstätigkeiten durch Zusammenwirkung physikalischer und chemischer Kräfte zustande kommen, so beruht auch die wunderbare *Nahrungsauswahl* nur auf einer solchen Kombination. Da die Biogene der verschiedenen Zellen unzweifelhaft eine verschiedene chemische Konstitution haben, und da sie nur solche Stoffe als Nahrung aufnehmen können, zu denen sie hinreichende chemische Affinität besitzen, so leuchtet es unmittelbar ein, daß verschiedene Zellen sich einem gegebenen Stoff gegenüber nicht auf dieselbe Weise verhalten können. Ein Chloroformtropfen umfließt einen Schellackfaden, ein Quecksilbertropfen tut es aber nicht — und merkwürdiger ist es auch nicht, daß eine Art Zellen diese, eine andere Art jene Nahrung aufnimmt. Die Bewegung einer Zelle gegen die bevorzugte Nahrung hin beruht unzweifelhaft auch nur auf mechanisch-chemischen Verhältnissen. Durch ein hübsches Experiment läßt sich eine solche Bewegung einer „unorganischen Zelle“ leicht nachweisen.

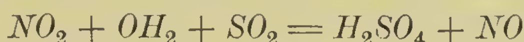
---

[1]) Bohr: Respiratorischer Gaswechsel. Nagels Handbuch. 1. Bd. S. 142 u. f.

In schwach gesäuertem Wasser nimmt ranziges Öl die bekannte Tropfenform an und liegt völlig ruhig. Gießt man nun vorsichtig in der Nähe des Öltropfens einige Tropfen einer starken Alkalilösung, so schießt die „Ölzelle" sofort ein „Pseudopodium" gegen das Alkali aus. Die Adhäsion zwischem dem sauren Öl und dem alkalischen Wasser wird nämlich größer als die Kohäsion des ersteren. Die beiden Flüssigkeiten ziehen sich daher an und verbinden sich chemisch zu einer Seife. Es ist kaum zu bezweifeln, daß die Bewegung einer Amöbe gegen ihre Nahrung hin auf analoge Weise zustande kommt. Die Auflösung einer geringen Menge der Nährstoffe in der umgebenden Flüssigkeit genügt, um die in der Nähe sich befindende Amöbe nach dem Orte der größten Konzentration zu ziehen.

Die von der Zelle aufgenommene Nahrung wird verdauet, d. h. erleidet solche chemischen Umsetzungen, daß von den gebildeten Produkten Biogene sich aufbauen lassen. Bei der Verdauung spielen gelöste Fermente, die sogenannten *Enzyme*, eine wesentliche Rolle, indem sie die komplizierten Nährstoffe spalten. Ihre Wirkung scheint zunächst eine *katalytische* zu sein: sie gehen als Zwischenglied in den Prozeß hinein, ohne dabei selbst verbraucht zu werden.

Als einfaches und übersichtliches Beispiel einer katalytischen Wirkung kann die Rolle der Untersalpetersäure bei der Bildung von Schwefelsäure angeführt werden. Wird schweflige Säure, SO_2, mit Wasserdampf und gasförmiger Untersalpetersäure, NO_2, gemischt, so bildet sich Schwefelsäure, H_2SO_4, und Stickoxyd, NO:



$$NO_2 + OH_2 + SO_2 = H_2SO_4 + NO$$

Tritt gleichzeitig Sauerstoff hinzu, so oxydiert sich das gebildete Stickoxyd wieder: $NO + O = NO_2$. Theoretisch läßt sich also mit einer gegebenen Menge Untersalpetersäure unbegrenzte Mengen von Schwefelsäure herstellen; die erstere vermittelt nur die Oxydation der schwefligen Säure, wird aber dabei selbst nicht verbraucht. Auf ähnliche Weise wirken auch die Enzyme, nur mit dem Unterschied, daß sie spaltend und nicht aufbauend auf die Nährstoffe wirken.

Von den durch die Verdauung entstandenen Produkten werden die Biogene gebildet. Wo diese Bildung anfängt, und wie sie verläuft, weiß man noch nicht. Bei den mit einem Zirkulationssystem ausgestatteten Organismen gehen die anwendbaren Verdauungsprodukte ins Blut über und werden auf diese Weise sämtlichen Organen zugeführt. Da die verschiedenen Organe sehr verschiedene Stoffe enthalten, müssen alle diese Stoffe sich mittels der im Blute vorhandenen Verbindungen aufbauen lassen können. Die schließlichen Synthesen finden selbstverständlich in den Organen statt, wo die resultierenden Stoffe zur Anwendung kommen. Diesen ganzen

Aufbau der lebendigen Substanz nennt man die *Assimilation.* Während der Arbeit der Organe werden die Biogene wieder zersetzt; die verschiedenen Umsetzungen, denen sie unterliegen, bis sie schließlich vom Organismus ausgeschieden werden, nennt man die *Dissimilation.* Da bei der Tätigkeit der verschiedenen Organe, die mit Dissimilation der Biogene verbunden sind, fast immer Arbeit — entweder mechanische Arbeit oder Wärme oder innere Veränderungen — geleistet wird, so sind die entstandenen Zersetzungsprodukte mithin energieärmer als die unzersetzten Biogene. Der Aufbau dieser letzteren, die Assimilation, erfordert folglich eine Zufuhr von Energie. Diese Energie kann direkt von einer äußeren Quelle bezogen werden, so wie es bei den Pflanzen stattfindet, die mittels des Sonnenlichtes die Stärke bilden; in solchem Falle wird also durch die Assimilation die verfügbare Energie tatsächlich vergrößert. In den weitaus häufigsten Fällen stammt die ganze Energie aber nur von der Nahrung; ein Teil der Energie derselben wird also dazu angewandt, kompliziertere Verbindungen aufzubauen, die durch ihre Zersetzung eine größere Energiemenge in andere Formen umwandeln können. Die Assimilation ist also stets eine Aufspeicherung von chemischer Energie; während der Dissimilation nimmt die verfügbare Energie ab, indem Arbeit irgend einer Art geleistet wird.

Für die Assimilation und Dissimilation der Biogene ist nicht nur die Nahrung, sondern auch der durch die Atmung aufgenommene Sauerstoff von Bedeutung, was daraus hervorgeht, daß die Menge des aufgenommenen Sauerstoffs sich stets nach der Tätigkeit des Organismus reguliert, in der Ruhe viel geringer als bei anstrengender Arbeit ist. Bei den zusammengesetzten Organismen, deren einzelne Zellen ihren Bedarf an Sauerstoff nicht direkt vom umgebenden Medium aufnehmen können, finden sich daher besondere Atmungsorgane (Lungen, Kiemen), die diese Funktion besorgen. Der in die Lungen eindringenden Luft entnehmen die Lungenzellen Sauerstoff, der dann wieder an das Blut abgegeben wird (die äußere Atmung). Von dem sauerstoffreichen arteriellen Blute nehmen die Biogene der einzelnen Zellen den nötigen Sauerstoff auf (innere Atmung), während die durch die Tätigkeit der Zellen zersetzten Biogene ins Blut übergehen, um schließlich als Kohlensäure und Wasserdampf durch die Lungen, als stickstoffhaltige Verbindungen durch die Nieren ausgeschieden zu werden. Von einem erwachsenen Menschen, 70 kg Körper-

gewicht, wird in relativer Ruhe in 24 Stunden etwa 230 g Kohlenstoff durch die Lungen, dagegen nur 11,5 g Kohlenstoff, also rund ein Zwanzigstel, durch die Nieren abgegeben. Dieser erhebliche Stoffverbrauch findet wohl größtenteils in den Organen statt, deren ununterbrochene Tätigkeit für das Erhalten des Lebens notwendig ist, aber selbst in den ruhenden Organen zerfallen die Biogene fortwährend; das chemische Gleichgewicht ist, wie wir wissen, kein statisches, sondern ein dynamisches. Eben deshalb müssen Herz und Lungen kontinuierlich arbeiten, um auch den ruhenden Zellen das Leben zu erhalten.

Fängt nun irgend ein Organ an zu arbeiten, so wächst damit die Dissimilation der Biogene, und das betreffende Organ hat einerseits eine größere Menge Sauerstoff und Nahrung nötig, während es andererseits reicher an Zersetzungsprodukten wird, die mittels des Blutstromes entfernt werden sollen. Diese verschiedenen Zwecke können auf die Weise erreicht werden, daß die Geschwindigkeit des Blutes größer wird — und eben dies tritt ein. Wie aber das Herz und der vasomotorische Apparat, die die Beschleunigung des Blutstromes besorgen, gereizt werden, ist wohl noch nicht völlig aufgeklärt. Jedenfalls erweitern sich die Gefäße des arbeitenden Organes, während andere Gefäße sich gleichzeitig kontrahieren (vgl. Kap. 19). Es geht folglich eine größere Blutmenge durch das arbeitende Organ hindurch, indem der Widerstand hier relativ geringer wird. Weil die größere Geschwindigkeit des Blutes indes eine stärkere äußere Atmung erfordert, um dem Blute eine dem Stoffumsatz entsprechende Menge Sauerstoff zuzuführen, so tritt auch reflektorisch eine tiefere Atmung ein, d. h. das Atemvolum wird vergrößert.

Hieraus ergibt sich dann eine einfache Methode, um die bei irgend einer Arbeit zersetzte Stoffmenge zu bestimmen. Gehen wir davon aus, daß die Arbeit von keiner erheblichen Dauer und nicht besonders anstrengend ist, so daß eine Vergrößerung der Urin- und Schweißsekretion nicht in Rechnung gezogen werden muß, braucht man nur die Menge der ausgeatmeten Kohlensäure zu bestimmen. Diese Bestimmung wird noch dadurch vereinfacht, daß die ausgeatmete Luft, wie Bohr nachgewiesen hat[1]), eine fast konstante Menge Kohlensäure enthält, indem die Atemgröße, das Volumen der ein- oder ausgeatmeten Luft, sich nach dem Sauerstoffbedarf des Orga-

[1]) Nagels Handbuch, 1. Bd. S. 133 u. 168 f.

nismus reguliert. Man braucht daher nur das Volumen der während einer gewissen Zeit eingeatmeten Luft sowohl vor, als während und nach der Arbeit zu messen. Das in der Ruhe, vor und nach der Arbeit pro Minute gefundene Volumen gibt dann den Niveauwert der Atemgröße an, und zieht man diese Größe von dem pro Minute eingeatmeten Luftvolum während der Arbeit, wird die Differenz ein relatives Maß der Größe der Arbeit. Diese vereinfachte Methode, die bei zahlreichen physiologischen Untersuchungen über die Muskelarbeit wertvollen Dienst geleistet hat, eignet sich jedoch nicht zur Bestimmung der relativen Größe von psychischen Arbeiten (Kap. 19, 64 und 87).

Das Verhältnis zwischen der Größe der Assimilation und der der Dissimilation, $\frac{A}{D}$, ist, wie leicht ersichtlich, von größter Bedeutung für die Tätigkeit eines Organes. Wenn das Organ völlig ausruht, so darf man annehmen, daß die Biogene desselben sich früher oder später im chemischen Gleichgewicht befinden, so daß $A = D$ oder $\frac{A}{D} = 1$. Steigt nun die Dissimilation, indem das Organ anfängt zu arbeiten, so wächst damit auch die Assimilation (S. 43), und es leuchtet ein, daß das Organ auf die Dauer seine Arbeit nur dann fortsetzen kann, wenn fortwährend $\frac{A}{D} = 1$ erhalten wird. Wird nämlich die Dissimilation größer als die Assimilation, $\frac{A}{D} < 1$, der Verbrauch also größer als die Zufuhr, so wird das Organ schließlich erschöpft, die Fortsetzung der Tätigkeit unmöglich. Wenn umgekehrt dem ruhenden Organe mehr Stoff zugeführt wird, als zur Erhaltung des gegebenen Gleichgewichtszustandes notwendig ist, so wird A größer als D, $\frac{A}{D} > 1$, und das Organ wächst. Soll eine konstante Tätigkeit stattfinden können, so muß also die Assimilation der Dissimilation proportional wachsen.

Der Bruch $\frac{A}{D}$, den Verworn den *Biotonus* genannt hat, ist, wie man sieht, ein genauer Ausdruck für den augenblicklichen Zustand eines Organes; von dieser Größe sind Tätigkeit, Ermüdung und Wachstum abhängig. Sowohl in allgemein biologischer als in psychologischer Beziehung hat der Biotonus daher eine hervorragende Bedeutung, und wir werden im folgenden mehrmals auf denselben zurückkommen.

Elftes Kapitel.

Wachstum und Fortpflanzung.

Wir sahen schon oben, daß die lebendige Substanz sich nur dann erhalten kann, wenn Nahrung von der Umgebung aufgenommen wird. Da die Biogene fortwährend zerfallen, muß Stoff aufgenommen werden, der neue Moleküle bilden kann, indem er sich mit gewissen Teilen der zersetzten Moleküle verbindet. Solange Zerfall und Neubildung, Dissimilation und Assimilation, sich einfach kompensieren, findet eine Veränderung der Größe des Individuums augenscheinlich nicht statt. Wird aber $\frac{A}{D} > 1$, so tritt ein *Wachstum* des Individuums ein. Dem Gesetze der chemischen Massenwirkung zufolge wird dies der Fall sein, wenn die Nahrungsflüssigkeit eine größere Konzentration erhält, als zur Erhaltung des augenblicklichen Gleichgewichtszustandes eben notwendig ist.

Bei dem Wachstum der lebendigen Substanz wirken selbstverständlich wie bei jeder Nahrungsaufnahme physikalische und chemische Kräfte zusammen (S. 48). Die Erscheinung des Wachstums läßt sich daher auch in andern Fällen beobachten; es kommt nur darauf an, daß eine gegebene Stoffmenge neuen Stoff zuzieht und innerhalb einer dehnbaren Grenzmembran aufspeichert. Die sogenannten „unorganischen Zellen“ verhalten sich in dieser Beziehung genau wie eine lebendige Zelle, und der Vorgang des Wachstums läßt sich in diesem Falle unschwer erklären.

Um solche Zellen herzustellen, bereitet man eine „Nahrungsflüssigkeit“, die in 200 g Wasser 2 g Gelatine, 3 g Ferrocyankalium und 5 g Kochsalz enthält. Ferner wird 1 g Kupfersulfat und 2 g Rohrzucker fein pulverisiert und mit sehr wenig Wasser zusammengerieben. Ist diese Masse getrocknet, wird ein Körnchen von der Größe eines Stecknadelkopfes in die lauwarme Nahrungsflüssigkeit gebracht. Es bildet sich dann sofort eine braune Masse, die in der warmen Flüssigkeit in wenigen Stunden zu einer zentimeterlangen Zelle herauswächst; das Wachstum setzt sich aber noch in der erstarrten kalten Gelatinemasse einige Tage fort. In einer flachen Schale bildet die Zelle flache, seegrasähnliche Formen, in einem Probeglas, von oben herab wachsend, dagegen lange Schilfe; die Form der Verästlungen läßt sich durch sehr kleine Mengen verschiedener Salze, die in der Nahrungsflüssigkeit aufgelöst werden, nach Belieben variieren. Küchensalz statt des vollständig gereinigten Kochsalzes modifiziert schon die Gebilde.

Die Theorie dieser Erscheinung ist recht einfach. Schwefelsaures Kupfer bildet mit Ferrocyankalium das rotbraune Kupfer-

eisencyanür. Diese Verbindung umgibt das zuckerhaltige Körnchen mit einer halbdurchlässigen (semipermeablen) Membran. Das Wasser, vom Zucker zugezogen, geht durch die Membran und löst den Zucker auf; diese Lösung kann aber nicht wieder durch die Membran heraustreten. Es entsteht somit innerhalb der Membran ein osmotischer Druck, wodurch die Zelle wächst, indem Wasser fortwährend zugezogen wird, bis die Konzentration der Zuckerlösung schließlich zu gering geworden ist. Da die Zelle sich bei ihrem Wachstum überall mit einer Zellmembran von Kupfereisencyanür umgibt, muß sie ein Zirkulationssystem haben, so daß die kupferhaltige Lösung in die feinsten Verzweigungen hinausströmen kann. Der Bau dieser Zellen ist also wahrscheinlich nicht ganz einfach [1]).

Mit dem Wachstum der Zelle geht zumeist auch eine Veränderung der Form einher, indem die verschiedenen Teile des Organismus nicht gleich stark wachsen. Nur ein kugelförmiger einzelliger Organismus wird seine Form unverändert erhalten können, aber selbst in diesem Falle muß das Wachstum eine wesentliche Veränderung herbeiführen. Die Oberfläche wächst nämlich mit der zweiten, das Volumen mit der dritten Potenz des Radius, und das Verhältnis zwischen der Oberfläche und dem Volumen wird somit beim Wachstum stets kleiner. Dasselbe wird auch bei den meisten Organismen komplizierterer Formen der Fall sein. Bei den einzelligen Organismen, die ihre Nahrung und Sauerstoff direkt von der Umgebung aufnehmen, wird das Wachstum daher zur Folge haben, daß die zentral gelegenen Teile schwieriger als die peripheren die nötigen Stoffe erhalten können. Der Organismus kann daher schließlich in der gegebenen Form nicht weiter wachsen; es entstehen innere Spannungen, die eine Teilung der Zelle hervorrufen: es findet eine Fortpflanzung statt.

In ihrer einfachsten Form, wie z. B. bei den Amöben, geht die Fortpflanzung auf die Weise vonstatten, daß der Zellkern sich in zwei Teile teilt, und darauf schnürt sich das Protoplasma ebenfallls in zwei Teile durch, so daß jeder Teil seinen Kern enthält. Aus einem großen Individuum sind auf diese Weise zwei kleinere geworden, die selbständig weiter wachsen. Oft geht die Teilung indes nicht so einfach vor sich, indem sie erst nach einer „Konjugation“ zweier verschiedenen Individuen eintritt. Eine solche Paarung findet man z. B. bei den einzelligen Rhizopoden. Zwei solche Organismen, *A* und *B*, legen sich dicht neben einander, und die

[1]) Leduc: Kultur der künstlichen Zellen. Zeitschrift für physikalische Medizin. 2. Bd. Leipzig 1907. S. 231.

Kerne teilen sich, so daß jetzt zwei Kerne, A_1 und A_2 in A, B_1 und B_2 in B, vorkommen. Der Teil A_1 des einen Kerns wird darauf z. B. mit dem Teil B_1 des anderen Individuums vertauscht, so daß A jetzt die Kernteile A_2 und B_1, B dagegen die Kernteile B_2 und A_1 enthält, und die beiden demselben Individuum zugehörigen Kernteile verschmelzen. Die Individuen, die auf diese Weise Kernteile ausgewechselt haben, trennen sich dann wieder. Diese Konjugation zweier Individuen ist augenscheinlich die einfachste Form einer geschlechtlichen Fortpflanzung. Die höheren Formen derselben verlaufen in der Weise, daß das männliche Spermatozoon, das eine vollständige Zelle ist, in das weibliche Ei, ebenfalls eine vollständige Zelle, eindringt, und erst darauf treten die Zellteilungen ein, wodurch das neue Individuum allmählich die Gestalt seiner Art annimmt.

Zwölftes Kapitel.

Die Energieumwandlungen im allgemeinen.

Die Quellen der Energie der Organismen brauchen hier nicht näher erörtert zu werden. Wir sahen schon oben (S. 52), daß die Tiere die nötige Energie ausschließlich in der Form chemischer Energie aufnehmen; für die Pflanzen dagegen spielt außerdem das Licht eine wesentliche Rolle bei der Assimilation von Kohlensäure. Ob die Wärme ebenfalls für die Organismen eine Quelle umwandelbarer Energie ist, mag wohl zweifelhaft sein. Tatsächlich sind die sogenannten Kaltblüter oder „wechselwarmen“ Tiere (Reptilien und Insekten) in hohem Grade von der Temperatur der Umgebung abhängig, indem sie bei 0° scheintot sind und mit steigender Temperatur bis zu einem bestimmten Optimum eine stets lebhaftere Tätigkeit zeigen. Da aber die Geschwindigkeit aller chemischen Vorgänge mit steigender Temperatur sehr schnell wächst, wird auch die Tätigkeit der lebendigen Substanz durch die wachsende Temperatur beschleunigt. Daß die von außen zugeführte Wärme selbst umgewandelt wird, ist aber jedenfalls äußerst zweifelhaft; man kann mithin die Wärme kaum unter die Energien zählen, durch deren Umwandlung die Leistungen der Organismen entstehen.

Bei der Rückbildung wandelt sich die chemische Energie der Organismen hauptsächlich in Wärme und mechanische Arbeit, im geringeren Grade in Elektrizität und Licht um.

Eine Produktion von *Licht* kommt bei vielen höheren und niederen Tieren und Pflanzen (Insekten, Bakterien, Pilzen) vor. Das Leuchten der betreffenden Organismen ist eine ausgesprochene Lebenstätigkeit; bei unzureichender Zufuhr von Sauerstoff wird es nämlich schwächer und erlischt vollständig beim Tode. Außerdem ist es in einigen Fällen nachgewiesen, daß die Organismen während des Leuchtens viel mehr Kohlensäure als sonst produzieren. Es handelt sich also hier unzweifelhaft um einen Oxydationsvorgang, was um so wahrscheinlicher ist, als man gefunden hat, daß zahlreiche Fettarten in alkalischer Lösung leuchten, wenn sie sich mit Sauerstoff langsam verbinden [1]). Die chemische Energie organischer Körper kann also teilweise, auch ohne starke Temperaturerhöhung, in Licht umgewandelt werden, und die erwähnten Tatsachen deuten augenscheinlich darauf hin, daß das Leuchten der Organismen auf derartigen Vorgängen beruht.

Elektrizität von recht erheblicher Spannung wird in besonderen Organen gewisser Fische produziert und dient denselben als Verteidigungsmittel. Außerdem entsteht Elektrizität bei der Tätigkeit jedes Nerven und Muskels; diese Erscheinung soll unten (Kap. 16) erörtert werden. Interessant ist es übrigens, daß die elektrischen Organe der betreffenden Fische (des Zitteraals und Zitterrochens) in ihrem Bau den quergestreiften Muskeln sehr ähnlich sind. Diese Organe sind daher als Muskeln aufzufassen, die das Kontraktionsvermögen verloren haben, während die elektrischen Eigenschaften um so stärker entwickelt worden sind.

Die verschiedenen Energien, die bei Umwandlung der chemischen Energie im Organismus entstehen, werden schließlich in *Wärme* umgewandelt, wenn sie nicht als Licht, Elektrizität oder Bewegungsenergie nach außen abgegeben werden. Außerdem wird bei den chemischen Prozessen im Organismus direkt, ohne andere Energieformen als Zwischenglied, Wärme erzeugt, so daß der größte Teil der chemischen Energie in diese Form übergeht. Jede ausgesprochene Lebenstätigkeit, z. B. die Keimung der Pflanzensamen, ist mit einer bedeutenden positiven Wärmetönung verbunden. Besonders bei den Warmblütern, den „gleichwarmen" Tieren, findet eine erhebliche Wärmeentwicklung statt, die sich so reguliert, daß die Temperatur

---

[1] Radzisyewsky: Über die Phosphorescens der organ. Körper. Liebigs Annalen der Chemie, Bd. 203, 1880.

des Körpers fast konstant erhalten wird. Die Wärme wird teils bei den vitalen Vorgängen, der Herzarbeit, der Atmung, der Leber- und der Nerventätigkeit, teils und zwar hauptsächlich von den Muskeln produziert[1]. Selbst in völliger Ruhe sind die Muskeln der Sitz eines lebhaften chemischen Umsatzes, wodurch 3/5 der gesammten Wärme des Körpers gebildet wird. Bei einem ruhenden Menschen beträgt die pro 24 Stunden produzierte Wärme rund 2000 Cal. Bei anstrengender Muskelarbeit kann die Wärmeentwicklung mehr als doppelt so groß werden, indem erstens die Muskeln während der Arbeit eine sehr bedeutende Wärmemenge entwickeln, und zweitens die genannten vitalen Tätigkeiten auch lebhafter werden. Durchschnittlich läßt sich der Wirkungsgrad der Muskelarbeit nicht höher als zu 33 % veranschlagen. Wird also von einem kräftigen Arbeiter pro Tag 200000 kgm Arbeit ausgeführt, so wird gleichzeitig von der chemischen Energie der Muskeln doppelt so viel in Wärme umgewandelt, wodurch etwa 950 Cal entstehen[2].

Mechanische Arbeit wird geleistet, indem entweder der gesamte Organismus sich bewegt, oder die einzelnen Teile ihre gegenseitige Lage verändern. Solche Bewegungen können auf verschiedene Weise zustande kommen, und nicht jede Bewegung ist ohne weiteres als eine Lebenstätigkeit aufzufassen. In einigen Fällen werden die Zellen passiv, durch äußere Kräfte bewegt. So ist z. B. die Strömung der Blutkörperchen in den Gefäßen eine rein passive, indem das Blut keine selbständige Bewegung besitzt und nur durch die Herztätigkeit getrieben wird. In anderen Fällen kommt die Bewegung durch physikalische Veränderungen zustande, so daß es für das Eintreten solcher Bewegungen ohne Bedeutung ist, ob der Organismus lebendig oder tot ist. Dies gilt z. B. von den Veränderungen hygroskopischer, quellbarer Körper, wenn sie aus dem getrockneten in den feuchten, aufgequellten Zustand oder umgekehrt übergehen.

Werden zwei ungleichartige Kartonstreifen zusammengeleimt, krümmt sich das Stück fast immer beim Trocknen, indem der Streifen, der die aufgenommene Feuchtigkeit leichter abgibt, sich infolgedessen auch stärker zusammenzieht. Analoge Bewegungen kommen oft im Pflanzenreiche vor, wo die verschiedenen Teile eines or-

---

[1] Tigerstedt: Physiologie des Stoffwechsels. Nagels Handbuch. 1. Bd. S. 579.

[2] Tigerstedt: A. A. O. S. 542 u. f.

ganischen Gebildes selten homogen sind und daher auch ungleichmäßig quellen. Als Beispiel solcher hygroskopischen Pflanzenteile können die Storchschnabelsamen und die „Rosen von Jericho“ angeführt werden. Die ersteren rollen sich in trockener Luft schraubenförmig zusammen, um sich wieder bei feuchter Witterung mehr oder weniger aufzurollen. Die letzteren sind kleine in der arabischen Wüste wachsende Kruziferen, die sich beim Austrocknen zusammenballen und wieder ihre Zweige ausbreiten, wenn man sie einige Stunden im Wasser liegen läßt.

Als Lebenstätigkeiten sind die Bewegungen der Pflanzenteile anzusehen, die durch Veränderungen des Zellturgors entstehen. Das Protoplasma, das die Innenseite der Zellulosemembran einer Pflanzenzelle bekleidet, bildet eine halbdurchlässige Wand; das Wasser kann hindurch diffundieren, die im Zellsaft gelösten Stoffe können aber nicht aus der Zelle heraustreten. Infolgedessen ist die Zelle gewöhnlich durch den osmotischen Druck der gelösten Stoffe ausgespannt. Wenn das Protoplasma, der „Primordialschlauch“, sich aber aktiv kontrahiert, was durch bestimmte Reize bewirkt werden kann, so wird das Wasser des Zellsaftes durch diesen Druck ausgetrieben, und die Zelle wird kleiner. Finden solche Kontraktionen gleichzeitig in einer ganzen Reihe von Zellen statt, können Form- und Lageveränderungen der betreffenden Pflanzenteile die Folge werden. Auf diese Weise kommen die Tag- und Nachtstellungen verschiedener Pflanzen, die Bewegungen der fleischfressenden Pflanzen u. m. a. zustande.

Gewisse niedrige, im Wasser lebende Organismen können ihren Standort durch Veränderungen ihres spezifischen Gewichtes wechseln. Difflugien und Radiolarien scheiden als Folge bestimmter Reizungen Kohlensäure in ihrem Protoplasma aus; ist die Kohlensäureblase genügend groß geworden, hebt sie wie ein Luftballon das Tierchen. Es sinkt dann wieder, wenn die Kohlensäure durch Diffusion abgegeben ist. Einige im Wasser lebende Algen können ihren Standort dadurch verändern, daß sie aus dem einen Ende des Zellkörpers eine Schleimmasse sezernieren; der Schleim klebt am Boden fest, und durch fortdauernde Sekretion stößt sich die Zelle langsam in der entgegengesetzten Richtung. Am häufigsten jedoch kommen Bewegungen durch Kontraktion und Expansion des Protoplasmas zustande. Alle solchen Organismen, die aus nackten Protoplasmamassen bestehen, können sich auf die Weise bewegen, daß die im kontrahierten Zustande fast kugelförmige Zelle einen Ausläufer, ein Pseudopodium,

bildet, in dessen Richtung die ganze Masse nachfließt. Durch eine neue Kontraktion ballt sich die Substanz dann wieder zusammen. — Komplizierter als diese amöboide Bewegung, aber auf demselben Prinzip beruhend, ist die Flimmerbewegung. Zahlreiche Arten isoliert lebender Zellen sind mit Flimmerhaaren, Geißeln, ausgestattet, die regelmäßige, schlagende Bewegungen machen, wodurch der ganze Körper bewegt wird. In den zusammengesetzten Organismen kommen an verschiedenen Stellen Flimmerepithele, mit Wimpern versehene Zellen, vor. Durch die rythmische Bewegung dieser Wimpern können Fremdkörper in bestimmten Richtungen geführt werden, indem sie entweder als schädlich abgestoßen oder als Nahrung einer Mundöffnung zugeleitet werden.

Den kompliziertesten Bau zeigt die kontraktile Substanz der quergestreiften Muskeln. Diese bestehen aus Muskelfasern; jede Faser ist eine Zelle, die oft sehr lang, 10 cm oder mehr werden kann. In den Fasern liegt die eigentliche kontraktile Substanz, die Muskelfibrillen, die eine besondere Form des Protoplasmas ist; das zwischen den Fibrillen liegende, nicht umgebildete Protoplasma, das Sarkoplasma, enthält die Zellkerne. Die Fibrillen sind von „Muskelsegmenten" aufgebaut; die einzelnen Segmente sind durch eine Zwischenscheibe *z* (Fig. 3 A) von einander getrennt. Jedes Segment besteht aus wenigstens drei Schichten; die mittlere, *a*, ist anisotrop (doppelt lichtbrechend) und dunkel, die beiden einschließenden, *i*, sind isotrop und heller. Die Kontraktion geschieht in der Weise, daß Flüssigkeit aus der isotropen Substanz in die anisotrope übergeht; dabei wird die erstere dunkler, die letztere heller als im Ruhezustand (Fig. 3 B). Wegen des Stoffverlustes verkürzen sich die isotropen Schichten; die anisotropen tun es zwar auch, aber viel weniger, dagegen werden sie breiter. Dies beruht wahrscheinlich darauf, daß die übertretende Flüssigkeit in zahlreiche äußerst feine Röhre eindringt, die der Längsrichtung nach die anisotropen Schichten durchsetzen; durch die eindringende Flüssigkeit werden die zwischen den Röhren liegenden Teile von einander entfernt und die Schichten mithin breiter. Diese Veränderungen laufen vom Orte der Reizung aus mit großer Schnelligkeit wie eine Welle über die Muskelfasern hin, bis sie vollständig kontrahiert

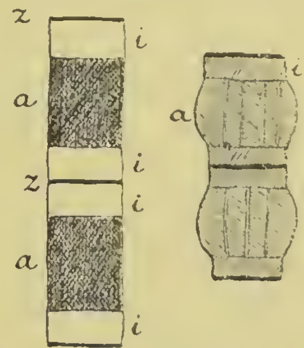


Fig. 3, *A* und *B*.

sind. Der Muskel als Ganzes wird also dadurch kürzer und dicker; das Volumen desselben bleibt aber unverändert. Während der Expansion werden die Vorgänge der Kontraktion rückläufig; von dem Orte, wo die Kontraktion anfing, geht jetzt eine Expansionswelle aus, so daß der Muskel allmählich in den Ruhezustand zurückkehrt.

Die Größe der Muskelarbeit, die unter gegebenen Umständen geleistet werden kann, hat in mehrfacher Beziehung psychologische Bedeutung. Einerseits sind die Veränderungen der Muskelarbeit unter bestimmten Verhältnissen leicht festzustellen und können in der Psychologie als Beispiele angeführt werden, wie die Tätigkeit eines Organs sich durch innere und äußere Faktoren beeinflussen läßt. Andererseits kann man häufig aus den tatsächlich vorliegenden Veränderungen der Muskelarbeit Rückschlüsse auf die psychischen Ursachen derselben machen. Es sollen daher im folgenden Kapitel die Hauptgesetze der Muskelarbeit dargestellt werden.

Zu den Energien, die durch Transformation der chemischen Energie der Biogene entstehen können, rechnen wir auch *die besondere, mit psychischen Eigenschaften ausgestattete Energie*, die im Nervensystem entsteht. Da die ganze Psychophysiologie nur die speziellen Gesetze dieser Erscheinung darlegt, brauchen wir hier nicht näher darauf einzugehen. Sie wird hier nur erwähnt, um ihre Koordination zu den übrigen Energien festzustellen.

Dreizehntes Kapitel.

Die Muskelarbeit.

Die Leistung eines arbeitenden Muskels oder einer Muskelgruppe läßt sich auf zwei verschiedene Wege untersuchen. Entweder stellt man die Versuche an einem ausgeschnittenen Muskel eines Kaltblüters, gewöhnlich eines Frosches, an, oder man läßt das unversehrte Tier oder einen Menschen auf bestimmte Weise arbeiten. Die eine Methode hat vor der anderen gewisse Vorteile voraus, leidet aber andererseits an gewissen Nachteilen. Bei den Versuchen mit Muskelpräparaten beherrscht man die *äußeren* Versuchsbedingungen viel mehr, als wenn derselbe Muskel des unversehrten Tieres arbeitet. Im ersteren Falle sind zahlreiche Bestimmungen, z. B. die Messung der bei der Arbeit entwickelten Wärme, verhältnismäßig sicher auszuführen, was in letzterem Falle, an dem fortwährend vom

Blute durchströmten Muskel, kaum möglich ist. Ferner: wenn ein Muskelpräparat benutzt wird, so arbeitet nur dieser Muskel; läßt man aber einen Menschen mit einer bestimmten Muskelgruppe arbeiten, so treten fast immer zahlreiche andere Muskeln, jedenfalls immer die der Atmung, in Tätigkeit. Auf der anderen Seite sind die *inneren* Versuchsbedingungen beim unversehrten Tier viel leichter konstant zu halten als beim Muskelpräparat. Die Muskeln des Tieres können nach geleisteter Arbeit ausruhen und dadurch in einen Normalzustand gebracht werden, der eine häufige Wiederholung desselben Versuches unter gleichartigen Bedingungen erlaubt. Die Leistungsfähigkeit des Muskelpräparats dagegen dauert höchstens einige Tage und nimmt während dieser Zeit besonders beim Gebrauche stetig ab. Hieraus geht also hervor, daß die Ergebnisse beider Methoden sich teils zur gegenseitigen Kontrolle anwenden lassen und sich teils ergänzen. Da für unsere Zwecke besonders die Leistungen eines unversehrten Organismus Bedeutung haben, berücksichtigen wir im folgenden hauptsächlich die unter diesen Umständen gefundenen Tatsachen.

Die bei den Versuchen vom Muskel zu leistende Arbeit kann entweder in der Hebung eines Gewichtes oder in der Spannung einer Feder bestehen. Im ersteren Falle kann sich der Muskel so viel verkürzen, wie er das spannende Gewicht zu heben vermag, und die Kontraktion wird daher eine *Verkürzungs-Zuckung* genannt. Im letzteren Falle wächst bei der Kontraktion die Spannung des Muskels mit der wachsenden Federspannung, und die Verkürzung des Muskels wird, je nach der Steifheit der Feder, mehr oder weniger beschränkt; solche Zuckungen werden daher als *Spannungs-Zuckungen* bezeichnet [1]). Betrachtet man das Resultat der Zuckung, die Größe der geleisteten Arbeit, so findet man, daß eine einigermaßen starke Feder ungefähr dieselbe Wirkung hat wie ein großes Gewicht, das die Verkürzung des Muskels auf ein Minimum herabsetzt. Eine Belastung des Muskels mit Gewichten hat daher die beiden Vorteile, das sie einerseits eine genaue Bestimmung der geleisteten Arbeit, und andererseits die möglichst große Variation der Versuchsumstände gestattet. Wir

---

[1]) Die allgemein üblichen Bezeichnungen: isotonische und isometrische Zuckungen beziehen sich nur auf Idealfälle, die bei den Verkürzungs- und Spannungszuckungen keineswegs erfüllt sind. Vgl. Nagels Handbuch, 4. Bd. S. 434 u. f.

fangen daher mit der Untersuchung der bei den Verkürzungszuckungen geleisteten Arbeit an.

Apparate, die zur Aufnahme und Registrierung der Muskelarbeit von Menschen oder Tieren eingerichtet sind, nennt man *Ergographen.* Es gibt eine große Anzahl verschiedener Konstruktionen, die sich erst durch die verschiedene Art der Arbeit, Hebung eines Gewichtes oder Spannung einer Feder, unterscheidet. Ferner können sie für verschiedene arbeitende Gliedmaßen, Finger, Hand, Arm usw., eingerichtet sein. Schließlich unterscheiden sich die Konstruktionen durch die Weise, wie das arbeitende Glied in einer bestimmten Stellung festgehalten wird. Handelt es sich, wie in den weitaus häufigsten Fällen, um die Arbeit eines Fingers, so kann der Arm mittels Bänder in einer unverrückbaren Lage festgeschnürt werden, was indes ganz verwerflich ist, da die Blutzirkulation dadurch gestört wird. Die einzig natürliche Befestigungsweise ist die, daß die Hand eine senkrechte Stütze umfaßt oder sich gegen eine wagerechte Leiste stützt; eine bequeme Lage läßt sich dann immer finden. Die im Folgenden zu besprechenden Untersuchungen an Menschen sind mittels eines nach diesem Prinzip modifizierten Mosso'schen Ergographen ausgeführt; gearbeitet wurde stets mit dem linken Zeigefinger, wo nichts anders angegeben ist.

Wird ein Muskelpräparat so gereizt, daß es sich unter den gegebenen Versuchbedingungen möglichst stark kontrahiert, so ist die Hubhöhe um so größer, je kleiner das spannende Gewicht[1]). (Vgl. Tab. 3 S. 67). Diese Tatsache läßt sich auch leicht an Menschen nachweisen. Hebt man nämlich, mittels eines der erwähnten Ergographen, verschiedene Gewichte in die möglichst große Höhe, so geht aus einer Reihe derartiger Bestimmungen die funktionelle Beziehung zwischen Gewicht und Hubhöhe einfach hervor.

Da die Muskelarbeit vielleicht in höherem Grade als irgend eine andere Tätigkeit von Übung und Ermüdung beeinflußt wird, so muß durch eine zweckmäßige Ordnung der Arbeit dafür Sorge getragen werden, daß der Einfluß der erwähnten physiologischen Verhältnisse sich eliminieren läßt. Die Angabe der hierzu nötigen Maßregeln ist eine Aufgabe der psychologischen Methodik, auf die wir hier nicht näher eingehen können[2]). Bei den in der Tab. 2 angeführten Messungen kann die Wirkung der Übung und der Ermüdung als eliminiert angesehen werden. Die Reihe *B* gibt die Belastung in kg., *H* die gefundene Hubhöhe in mm an; die Werte *H* sind Mittelwerte aus je 40 Einzelbestimmungen.

---

[1]) Dies wurde schon bei den ersten Messungen Heidenhains (Mechanische Leistungen etc. bei der Muskeltätigkeit, Leipzig 1864, S. 87) konstatiert.

[2]) Vgl. Lehmann: Psychol. Methodik. S. 12—15.

Tabelle 2.

B	2	4	6	8	10	12	14	16	18
H	69,5	55,9	47,3	39,6	34,0	26,9	21,8	15,4	9,6
H.ber	58,9	52,7	46,5	40,3	34,1	27,8	21,7	15,5	9,3
A	139	223	284	317	340	323	305	246	173

Setzt man die Werte B als Abszisse, die entsprechenden Werte H als Ordinate ab, so erhält man die Kurve H (Fig. 4.) Vom größten Gewichte, 21 kg, das eben nicht gehoben werden konnte, bis zu 8 kg herab ist die Kurve eine Gerade; bei kleineren Gewichten steigt sie etwas stärker (die punktierte

Fig. 4.

Fortsetzung), was davon herrührt, daß ein kleines Gewicht bei maximaler Anstrengung seitens der Versuchsperson eine Eigenbewegung erhält, in die Höhe geschleudert wird. Die gemessenen Hubhöhen sind daher etwas größer als die tatsächlich vom Finger ausgeführten Bewegungen; bei ruhiger Kontraktion des Fingers nähern sich denn auch die Hubhöhen der kleineren Gewichte der in der Figur vollgezeichneten Gerade. Sieht man von dieser kleinen Unregelmäßigkeit ab, die sich auch in den physiologischen Versuchen mit Muskelpräparaten wiederfindet[1]), so läßt sich also die Beziehung zwischen Hubhöhe H und Belastung B durch die Gleichung:

$$H = k - k_1 \cdot B \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad \text{(Gl. 7).}$$

wo k und k_1 Konstanten sind, ausdrücken. Werden die

[1]) Vgl. Heidenhain, a. a. O. S. 87.

Konstanten der obigen Bestimmungen berechnet, findet man: $H = 65{,}1 - 3{,}1 \cdot B$; die hieraus berechneten Werte H sind in der Tabelle 2 unter „H·ber". angegeben.

Da die geleistete Arbeit A durch das Produkt HB bestimmt ist, erhalten wir also für die Arbeit, die mit einer Belastung B ausgeführt werden kann, den Ausdruck:

$$A = H \cdot B = B \cdot (k - k_1 \cdot B) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad \text{(Gl. 8)}.$$

Diese Gleichung bestimmt eine Parabel. Wird die berechnete Arbeit, in kg mm ausgedrückt, als Ordinate abgesetzt, erhält man für die Messungen der Tab. 2 die vollgezeichnete Kurve A der Fig. 4. Die tatsächlich ausgeführte Arbeit, in Tab. 2 angegeben, ist bei den kleineren Gewichten wegen des Schleuderns derselben etwas größer; diese Werte bestimmen den punktierten Teil der Kurve A. Die Abweichung zwischen Messung und Berechnung ist, wie ersichtlich, nur geringfügig.

Der Wert der Belastung, B_{opt}, mit der die möglichst große Arbeit ausgeführt werden kann, ergibt sich durch Differentiation der Gleichung 8:

$$\frac{dA}{dB} = k - 2k_1 B = 0, \text{ woraus } B_{opt} = \frac{k}{2k_1} \quad . \quad . \quad \text{(Gl. 9 a)}.$$

Setzt man diesen Wert B_{opt} in Gleichung 8 hinein, findet man die maximale Arbeit A_{max}:

$$A_{max} = \frac{k^2}{4k_1} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad \text{(Gl. 9 b)}.$$

Wird ferner B_{opt} in Gleichung 7 eingesetzt, erhält man die optimale Hubhöhe:

$$H_{opt} = \frac{k}{2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad \text{(Gl. 9 c)}.$$

Aus den Gleichungen 9, a bis c, findet man für die obigen beispielweise angegebenen Messungen: $B_{opt} = 10{,}5$; $A_{max} = 342$; $H_{opt} = 32{,}6$.

Recht sonderbar erscheint es, daß ein Muskel, der z. B. 16 kg sehr wohl heben kann, bei der Hebung dieses Gewichtes bis zur möglichst großen Höhe nicht eben so viel Arbeit leistet, als wenn er nur 10 kg hebt (vgl. Tab. 2). Wenn der Muskel überhaupt eine bestimmte Arbeit, z. B. 340 kg mm (Tab. 2), ausführen kann, warum wird dann nicht konstant diese Arbeit, unabhängig von der Größe des zu hebenden Gewichtes, geleistet? Die physiologischen, mit Muskelpräparaten angestellten Untersuchungen geben uns auf diese Frage die Antwort, indem die Messungen zeigen, daß der Wirkungsgrad des Muskels von der Hubhöhe, d. h. von der

Größe der Kontraktion, abhängig ist, und sein Maximum eben bei der optimalen Hubhöhe erreicht.

Tabelle 3.

B	H	H ber.	A	A ber.	E	E ber.	A mg.cal	N
3		20,6		62	14,1	14,1	0,15	0,011
23	20,6	19,8	468	475	18,3	18,1	1,11	0,061
43	19,0	19,1	819	821	19,6	19,8	1,92	0,092
83	17,1	17,6	1420	1459	22,0	21,9	3,42	0,156
123	15,4	16,1	1898	1980	22,8	23,5	4,65	0,198
163	14,6	14,6	2379	2379	25,2	24,5	5,58	0,228
203	13,7	13,1	2793	2660	24,6	25,2	6,24	0,248
250		11,4		2850		25,8	6,68	0,259
277		10,3		2860		25,9	6,71	0,259
300		9,5		2850		26,0	6,68	0,257

Fick hat eine Reihe Messungen veröffentlicht, aus denen das erwähnte Resultat sich leicht ableiten läßt[1]). In der Tabelle 3 sind die betreffenden Zahlen angegeben, indem unter B die Belastung des Muskels in g, unter A die gesamte Größe der in drei Zuckungen geleistete Arbeit, in g mm ausgedrückt, wiedergegeben ist. Diese Werte A sind die Mittelwerte der drei mit demselben Muskel angestellten Versuche. Unter H findet sich die Hubhöhe, indem $H = \frac{A}{B}$. Setzt man die Gültigkeit der Gleichung 7 für diese Messungen voraus und berechnet die Konstanten k und k_1, so findet man $H = 20{,}7 - 0{,}0374 \cdot B$; die hiernach berechneten Werte H sind unter „H·ber." angeführt, und wie aus der Tabelle 3 ersichtlich sind die Werte des H auch für einige größere Werte des B als die bei den Versuchen angewandten berechnet. Da der Gleichung 9 a zufolge $B_{opt} = 277$, ist dieser Wert speziell mitgenommen. Ferner sind die Werte A aus der Gleichung: $A = B \cdot (20{,}7 - 0{,}0374 \cdot B)$ berechnet und in der Tabelle unter „A·ber," angegeben.

Bei diesen Versuchen wurde nun gleichzeitig die Erwärmung des Muskels gemessen. Da die bei der Hebung des Gewichtes geleistete Arbeit sich wieder bei der Senkung in Wärme umsetzt, so entspricht mithin die aus der Temperaturerhöhung berechnete Wärmemenge der gesamten Energie, die bei dem Versuche umgewandelt worden ist. Diese Energie, in Mikrokalorien (mg·cal.) ausgedrückt, ist in Tabelle 3 unter E angegeben. Gleicht man diese Zahlen aus, und extrapoliert man ferner die Werte E, die den Werten $B > 200$ entsprechen, so erhält man die unter „E·ber." angeführten Größen. Aus denselben ist ersichtlich, daß die Wärmeentwicklung fortwährend wächst, auch nachdem die geleistete Arbeit, bei höheren Belastungen, angefangen hat, abzunehmen. Daß dies

[1]) Myothermische Untersuchungen, Wiesbaden 1889, S. 121.

tatsächlich stattfindet, ist durch direkte Messungen von *Blix* nachgewiesen [1]). Den Wirkungsgrad der Muskelenergie erhalten wir jetzt durch Division der umgewandelten Energie in die geleistete äußere Arbeit, wenn die letztere im Wärmemaß (mg·cal.) ausgedrückt ist. Diese Werte sind unter „A mg·cal", der Wirkungsgrad $N = \frac{A}{E}$ unter N in Tabelle 3 angeführt.

In Fig. 5 sind die Resultate der Messungen Ficks und

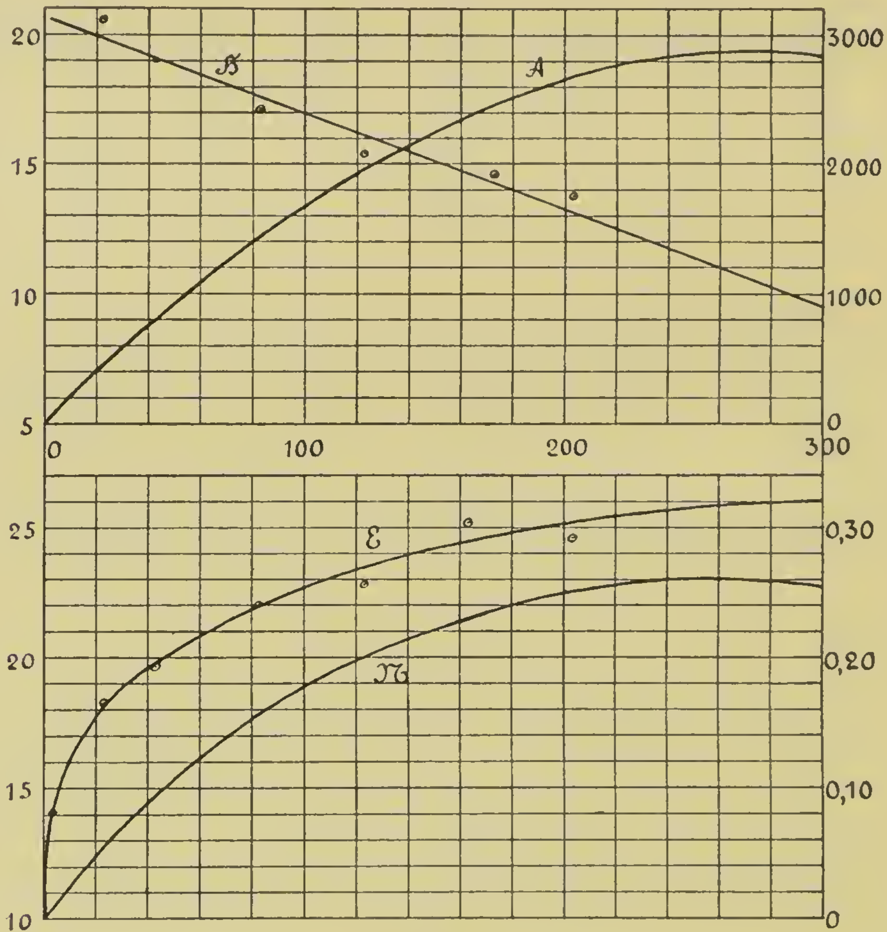


Fig 5.

der hier angestellten Berechnungen graphisch dargestellt. Als Abszisse ist die Belastung B abgesetzt; in der oberen Hälfte der Figur sind die berechneten Werte der Hubhöhe H und der Arbeit A als Ordinaten abgesetzt, welche Werte die beiden Kurven H und A bestimmen. In der unteren Hälfte sind die den Werten B entsprechenden Größen der umgewandelten Energie E und der Wirkungsgrad N als Ordinaten abgesetzt, wodurch die Kurven E und N bestimmt sind. Vergleicht man nun die Kurven A und N, so sieht man, daß das Maxi-

[1]) Skandinavisches Archiv für Physiol. Bd. 12, 1902. S. 116.

mum der beiden Kurven demselben Abszissenwert $B_{opt} = 277$ entspricht. Die optimale Belastung ist aber diejenige, bei der der Muskel die optimale Hubhöhe erreicht. Wenn man also bei dieser Hubhöhe das Maximum der geleisteten äußeren Arbeit sowohl als das des Wirkungsgrades findet, kann dies nur bedeuten, daß der Wirkungsgrad des Muskels von dessen Verkürzung abhängig ist. Wir kommen auf diese Weise einfach zu dem zuerst von Blix aufgestellten, von Frank konsequent durchgeführten Satz[1]), daß die Länge des Muskels die für die Muskelarbeit entscheidende Größe ist. Wir können diesen Satz genauer folgendermaßen formulieren:

Der Muskel ist eine Arbeitsmaschine, deren Wirkungsgrad von der Hubhöhe, von der Verkürzung des Muskels, in der Weise abhängig ist, daß das Maximum des Wirkungsgrades und damit auch das der geleisteten äußeren Arbeit bei einer mittleren, optimalen Hubhöhe erreicht wird; sowohl bei größerer als bei geringerer Verkürzung wird daher weniger äußere Arbeit ausgeführt.

Durch direkte Messungen am Menschen kann man dieses Resultat nicht bestätigen. Daß die Erwärmung der arbeitenden Muskeln sich ohne operative Eingriffe nicht bestimmen läßt, ist in dieser Beziehung ohne Bedeutung, weil die oben (S. 53—54) erwähnte Methode der Respirationsmessung dasselbe leistet. Der Zuwachs der Atemgröße und die Erwärmung der Muskeln während der Arbeit sind nur zwei verschiedene Maße desselben Vorganges, der Umwandlung der chemischen Energie, und die beiden Größen müssen also stets proportional sein. Wenn aber ein Mensch mit einer bestimmten Muskelgruppe arbeitet, so beschränkt sich die Arbeit nicht auf diese Muskeln, sondern der ganze Organismus kommt ins Spiel. Mitbewegungen verschiedener Muskeln sind fast unvermeidlich, und die Atmungsmuskulatur muß jedenfalls, dem wechselnden Bedarf an Sauerstoff entsprechend, stärker arbeiten. Der Stoffumsatz des gesamten Organismus wächst daher, wenn Mitbewegungen so weit möglich vermieden werden, der geleisteten Arbeit proportional[2]), was mit andern Worten heißt, daß der Wirkungsgrad konstant bleibt. Unter gewöhnlichen Umständen, wenn solche Maßregeln nicht getroffen

---

[1]) Blix, a. a. O. Frank: Thermodynamik des Muskels. Ergebnisse der Physiologie. 3. Bd., 2. Abt. S. 348 u. f.

[2]) Johansson und Koraen: Skandinav. Archiv für Physiol. Bd. 14, 1903, S. 478.

werden, wächst der Stoffumsatz stärker als die ausgeführte Arbeit, so daß der Wirkungsgrad der Energieumwandlung des gesamten Organismus mit wachsender Arbeit sinkt.

Zur Erläuterung des Angeführten kann folgendes Beispiel dienen. Mit dem oben erwähnten Ergographen führte die Versuchsperson in 40 Sek. 20 Hebungen in regelmäßigem Tempo aus; gleichzeitig wurde der Zuwachs der Atemgröße bestimmt Das Ergebnis ist aus Tab. 4 ersichtlich. In der Reihe *B* ist die Größe der gehobenen Gewichte in kg, in der Reihe *A* die in 20 Hebungen ausgeführte Arbeit in kgmm, und in der Reihe *V* der Zuwachs der Atemgröße in cm^3 angegeben. Die gemessenen Werte *A* und *V* sind die Mittel aus 4 Versuchsreihen, die so angeordnet waren, daß der Einfluß der Übung und der Ermüdung sich so weit möglich eliminieren ließ. Um den Wirkungsgrad *N* berechnen zu können, muß man *A* und *V* auf ein gemeinsames Maß reduzieren; da aber $N = c \cdot \frac{A}{V}$, können die Variationen des Wirkungsgrades ebenso wohl aus dem Bruche $\frac{A}{V}$ ersehen werden. Diese Werte sind in der Reihe *N* aufgeführt und zeigen, wie der Wirkungsgrad mit wachsender Belastung sinkt.

Tabelle 4.

B	4	6	8	10	12	14	16
A	4058	4995	5890	6528	6455	5874	5146
V	1086	1521	2014	2523	3083	3648	4178
N	3,7	3,3	2,9	2,6	2,1	1,6	1,2

Wegen der erwähnten störenden Umstände kann man also am Menschen nicht direkt den Nachweis führen, daß der maximale Wirkungsgrad der optimalen Hubhöhe entspricht. Indirekt geht es aber aus der Tatsache hervor, daß eine arbeitende Muskelgruppe um so langsamer ermüdet und mithin um so mehr Arbeit leisten kann, je mehr die Hubhöhe sich der optimalen nähert. Führt man eine Arbeit bestimmter Größe auf verschiedene Weise aus, indem die Belastung *B* und dementsprechend die Hubhöhe *H* variiert werden, während *BH* konstant bleibt, so kann wegen wachsender Ermüdung nach einer gewissen Anzahl Hebungen die geforderte Arbeit nicht mehr geleistet werden. Diese Anzahl wird aber am größten, wenn *H* um H_{opt} schwankt.

Dieselbe Versuchsperson, von der die oben angegebenen Versuchsreihen herrühren, wodurch 32,6 mm als die optimale Hubhöhe des Zeigefingers bestimmt wurde, führte

den folgenden Versuch aus. In dem Tempo 15 Hebungen pro Minute wurde bei jeder Hebung 250 kgmm Arbeit geleistet, bis diese Größe wegen wachsender Ermüdung nicht mehr erreicht werden konnte. Die Anzahl Hebungen, die mit verschiedenen Belastungen ausgeführt wurde, geht aus Tab. 5 hervor. Das zu hebende Gewicht ist in Kilogramm, die innezuhaltende Hubhöhe in Millimetern angegeben; das Produkt aus dem Gewichte und der Hubhöhe ist konstant 250 kgmm. Außer der erreichten Anzahl Hebungen ist die gesamte Größe der dabei geleisteten Arbeit angegeben. Bei der Belastung 6,25 kg wurde die Grenze nicht erreicht, indem der Versuch nach 200 Hebungen unterbrochen wurde. Es kann, wie aus der Tabelle ersichtlich, keinem Zweifel unterliegen, daß die maximale Anzahl Hebungen und damit das Maximum der Arbeit bei einer Hubhöhe zwischen 30 und 40 mm, d. h. in der Gegend der optimalen Hubhöhe, für den Finger dieser Versuchsperson liegt. Analoge Resultate hat Stupin durch ein ähnliches Verfahren gefunden[1]). Wir können somit feststellen: *Der Muskel arbeitet ökonomischer und leistet daher auf die Dauer mehr Arbeit, wenn er die Belastung eben bis zur optimalen Höhe heben kann, als wenn er das Gewicht in irgend eine andere Höhe heben muß.*

Tabelle 5.

Gewicht	12,5	10	8,3	6,25	5
Höhe	20	25	30	40	50
Anz. Heb.	30	83	105	> 200	45
A.	7500	20750	26 250	> 50 000	11250

Hieraus ergibt sich eine einfache Methode zur Bestimmung der maximalen Arbeitsleistung eines Muskels. Gehen wir davon aus, daß der Muskel anfangs mit einem Gewichte belastet ist, das er eben bis zur optimalen Höhe heben kann. Wenn der Muskel nun bei fortgesetzter Arbeit ermüdet, so sinkt die Hubhöhe und damit die Arbeit mehr oder weniger schnell. Die möglichst große Arbeit erhält man dann, wenn das Gewicht so vermindert wird, daß dieses kleinere Gewicht wieder bis zur optimalen Höhe gehoben werden kann. Es seien das ursprüngliche Gewicht B und die Hubhöhe H_{opt};

[1]) Beiträge zur Kenntnis der Ermüdung beim Menschen. Skandinav. Archiv für Physiologie. Bd. 12, 1902. S. 149.

wenn diese letztere um die Größe $\triangle H$ abgenommen ist, dann ist die Bedingung, auf die Dauer das Maximum der Arbeit zu erhalten, daß B um eine Größe $\triangle B$ vermindert wird, so daß:

$$B(H_{opt} - \triangle H) = (B - \triangle B)\, H_{opt} \text{ oder: } \frac{\triangle B}{B} = \frac{\triangle H}{H_{opt}} \quad \text{(Gl. 10).}$$

In der Praxis kann keine Rede davon sein, nach jeder Hebung das Gewicht in demselben Verhältnis zu vermindern, wie die Hubhöhe abgenommen hat. Selbst wenn die technischen Schwierigkeiten sich überwinden ließen, würde ein solches Verfahren einfach deshalb unmöglich sein, weil die Abnahme der Hubhöhe wegen der zufälligen Schwankungen der sukzessiven Hebungen sich nicht feststellen läßt. Es genügt völlig, wenn man das Gewicht um einen bestimmten Bruchteil, z. B. $^1/_5$, herabsetzt, sobald die optimale Hubhöhe dauernd nicht erreicht werden kann. In dem Augenblicke, wo die Verminderung des Gewichtes stattfindet, steigt die Hubhöhe über die optimale hinaus, und die Arbeit wird ein wenig größer als die unmittelbar vorher mit dem größeren Gewichte geleistete. Schon hieraus ist ersichtlich, daß auf keine andere Weise eine größere Arbeit erreicht werden kann[1]).

Bei den im folgenden darzustellenden Messungen, die von derselben Versuchsperson wie die vorhergehenden herrühren, wurde stets mit dem optimalen Gewichte 10 kg angefangen. Sobald die Hubhöhe dauernd unter 32 mm gesunken war, wurde das Gewicht um $^1/_5$ vermindert, also auf 8 kg reduziert, und wenn die Hubhöhe wiederum unter 32 mm gesunken war, wurde das Gewicht nochmals $^1/_5$ kleiner gemacht, usw. Die zur sukzessiven Anwendung kommende Gewichtsreihe war somit: 10—8—6,4—5,1—4,1—3,8—2,65—2,1—1,7—1,35 und 1,1 kg.

Man überzeugt sich leicht davon, daß die angegebene „Methode der optimalen Hubhöhe" tatsächlich die maximale Arbeit liefert, wenn zwei parallele Versuche angestellt werden. In den beiden Fällen fängt man mit der optimalen Belastung an; bei dem einen Versuch aber wird diese Belastung konstant gehalten, so daß die Hubhöhe mit wachsender Ermüdung fortwährend sinkt, bei dem anderen dagegen wird auf die angegebene Weise die optimale Hubhöhe innegehalten. Selbstverständlich sind die sukzessiven Hebungen der beiden Versuche in demselben Tempo auszuführen. Die resultierenden

---

[1]) Treves: Die Gesetze der willkürlichen Muskelarbeit. Pflügers Archiv, Bd. 78, 1899. S. 165. Treves hat die Methode angegeben, ohne die Bedeutung der optimalen Hubhöhe zu erkennen.

Ergogramme, d. h. die Kurven, die die Größe der sukzessiven Arbeiten darstellen, zeigen, daß die Arbeit bei konstanter Belastung schneller sinkt als bei konstanter Hubhöhe. Figur 6 stellt die Ergebnisse eines solchen Doppelversuches dar. Als Abszisse ist die Anzahl der Hebungen, als Ordinate die bei jeder Hebung geleistete Arbeit, in kg-cm gemessen, abgesetzt. Die Kurve „*K. G.* = 10 kg“ stellt die Arbeit mit konstanter Belastung, die Kurve „*Opt. H.*“ die Arbeit mit optimaler Hubhöhe dar. Die Ordinaten der Kurven sind Mittelwerte je zweier Versuche.

Daß das *Tempo* der Hebungen bei allen solchen Versuchen von Bedeutung sein muß, ist leicht einzusehen. Je seltener nämlich die Hebungen stattfinden, um so besser erholen sich

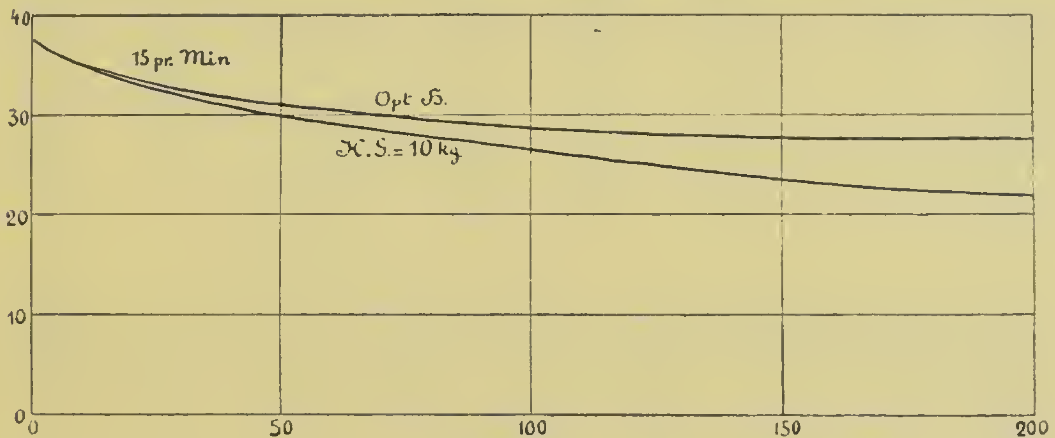


Fig. 6.

die Muskeln in der Zwischenzeit, und um so weniger werden die folgenden Hebungen von den vorhergehenden beeinflußt. In einer gegebenen Anzahl Hebungen wird folglich um so mehr Arbeit geleistet, je langsamer das Tempo ist.

Die folgenden Versuchsreihen bestätigen dies vollends. Sämtliche Reihen wurden unter genau den nämlichen Bedingungen, nach der Methode der optimalen Hubhöhe ausgeführt, indem nur das Tempo variiert wurde. Die Anzahl der Hebungen pro Minute war in den verschiedenen Reihen: 60—40—30—20—15—10—7,5, so daß also die Dauer des Intervalls, einschließlich der schnell ausgeführten Hebung, 1—1,5—2—3—4—6 und 8 Sek. betrug. Da die in schnellem Tempo aufgenommenen Arbeitskurven (Ergogramme) fast bis zur Erschöpfung ausgeführt werden müssen, ist eine mehrere Stunden dauernde Erholung zwischen den einzelnen Versuchen unerläßlich, und an einem Tage können somit nur wenige Ergogramme erhalten werden. Um die wechselnde Disposition an verschiedenen Tagen nach Möglichkeit zu eliminieren, sind daher in jedem Tempo vier Versuche gemacht, und aus den Werten von je fünf Hebungen (Nr. 1—5, 6—10, 11—15 usw.) der vier Versuche sind Mittelwerte

berechnet. Jeder mittlere Wert ist somit das Mittel aus zwanzig Einzelhebungen, und diese Mittelwerte sind zur Mitte jeder Gruppe, also zu den Nummern 3, 8, 13, 18 usw. der Hebungen hingeführt. In der Tabelle 6 sind die so berechneten Resultate in kg-cm angegeben. Die obere Reihe gibt das Tempo, die Länge des Intervalls in Sekunden an; in der Säule links sind die Nummern der Gruppen angeführt, es sind aber nur so viele Gruppenmitten mitgenommen als eben notwendig, um die Arbeitskurven zu bestimmen.

Tabelle 6.

Nr.	Länge des Intervalls						
	1	1,5	2	3	4	6	8
3	35,7	35,0	36,6	35,5	36,5	36,8	37,0
8	33,3	33,8	34,9	34,8	34,6	35,8	35,8
23	27,2	28,4	30,6	30,0	32,7	32,7	34,0
48	21,0	22,8	24,9	28,1	30,9	31,6	31,8
73	15,5	19,1	21,7	25,9	28,8	30,5	31,2
98	11,7	17,0	20,0	24,7	28,2	29,7	31,0
123	8,8	14,9	19,4	24,1	27,2	29,6	31,0
148	7,5	13,9	19,1	23,7	27,2	29,6	31,0
173	6,6	13,5	19,1	23,7	27,3		
198	6,3	13,5	19,1	23,1	26,7		

In der Figur 7 sind die Ergebnisse dieser Versuche graphisch dargestellt, indem als Abszisse die Nummern, die Ordnungszahlen der Hebungen, als Ordinate die entsprechenden Arbeiten abgesetzt sind. Die Kurven, die die Resultate der sieben verschiedenen Tempos darstellen, sind mit der Länge des betreffenden Intervalls in Sekunden bezeichnet. Die Figur zeigt, daß die Ermüdung des Muskels mit der Geschwindigkeit des Tempos wächst, indem die Größe der sukzessiven Hebungen um so mehr abnimmt, je schneller das Tempo ist. In einer *bestimmten Anzahl Hebungen* wird mithin um so mehr Arbeit geleistet, je langsamer das Tempo ist. Da aber ein *n*-mal langsameres Tempo auch eine *n*-mal längere Zeit erfordert, wird die Leistung pro Sekunde *n*-mal geringer. Es ist also keineswegs sicher, daß die Arbeit in einer *bestimmten Zeit* auch um so größer wird, je langsamer das Tempo ist. Es zeigt sich im Gegenteil, daß die größte Leistung beim schnellsten Tempo erreicht wird, wenn es sich nur um ganz kurze Zeiten handelt; kommt es dagegen auf dauernde Arbeit an, stellt sich ein mittleres Tempo als das optimale heraus.

Dieses Resultat kann leicht aus den Werten der Tab. 6 abgeleitet werden. Die pro Sekunde geleistete Arbeit erhält man nämlich einfach durch Division des Intervalles in die bei

einer Hebung ausgeführte Arbeit, und die seit dem Anfang der Arbeit verflossene Zeit ist das Produkt aus der Anzahl der Hebungen und der Größe des Intervalls. In Fig. 8 sind die so berechneten Zeiten als Abszisse, die nach Verlauf der verschiedenen Zeiten pro Sekunde geleisteten Arbeiten als Ordinate abgesetzt. Für jedes Intervall erhält man auf diese Weise eine Kurve, die in der Figur mit der Größe des betreffenden Intervalls bezeichnet ist. Die gegenseitige Lage dieser Kurven zeigt, eine wie große Arbeit nach Verlauf einer

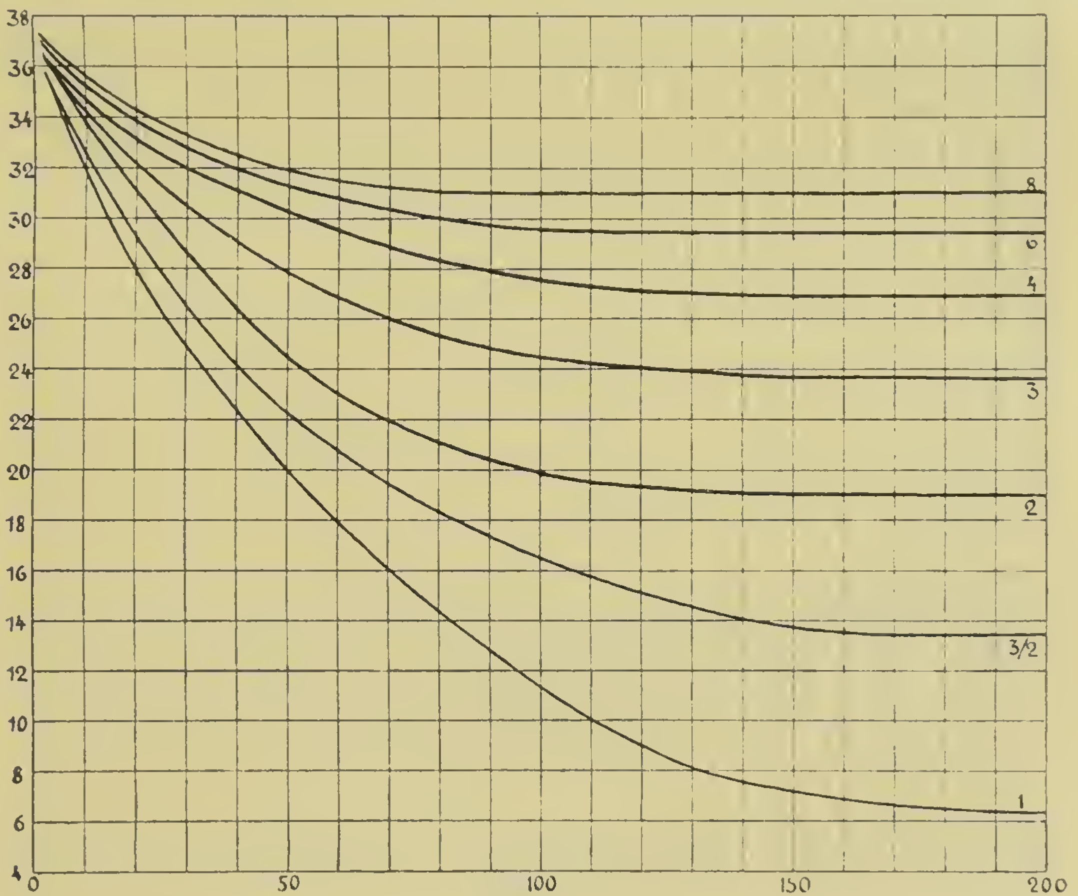


Fig. 7.

gegebenen Zeit bei jedem Tempo sich leisten läßt. Das von den Achsen, von einer beliebigen Ordinate und einer Kurve begrenzte Areal gibt die gesamte Größe der während dieser Zeit geleisteten Arbeit an. Aus der Figur ersieht man, daß *in kurzen Zeiten*, etwa 100 Sek., *die größte Gesamtleistung beim schnellsten Tempo erreicht wird*, wie es schon von sportlichen Leistungen verschiedener Art bekannt ist. *Auf die Dauer dagegen wird die Ermüdung bei den schnellsten Tempos zu groß*, *so daß mehr Arbeit bei einer mittleren Geschwindigkeit*, in dem betrachteten Falle 2 Sek., *erreicht wird.*

Noch eine andere Tatsache geht aus der Figur 8 hervor. Da bei jeder Muskelkontraktion, jeder Hebung eines Gewichtes, eine der geleisteten Arbeit entsprechende Stoffmenge zersetzt wird, kann der Muskel bei den sukzessiven Hebungen nur dann gleich große Arbeiten ausführen, wenn der dekomponierte Stoff während der Pause ersetzt wird. Aus der Figur 8 ist ersichtlich, daß eine Pause von 8 Sek. fast genügt, um eine vollständige Erholung des Muskels zustande zu bringen, denn

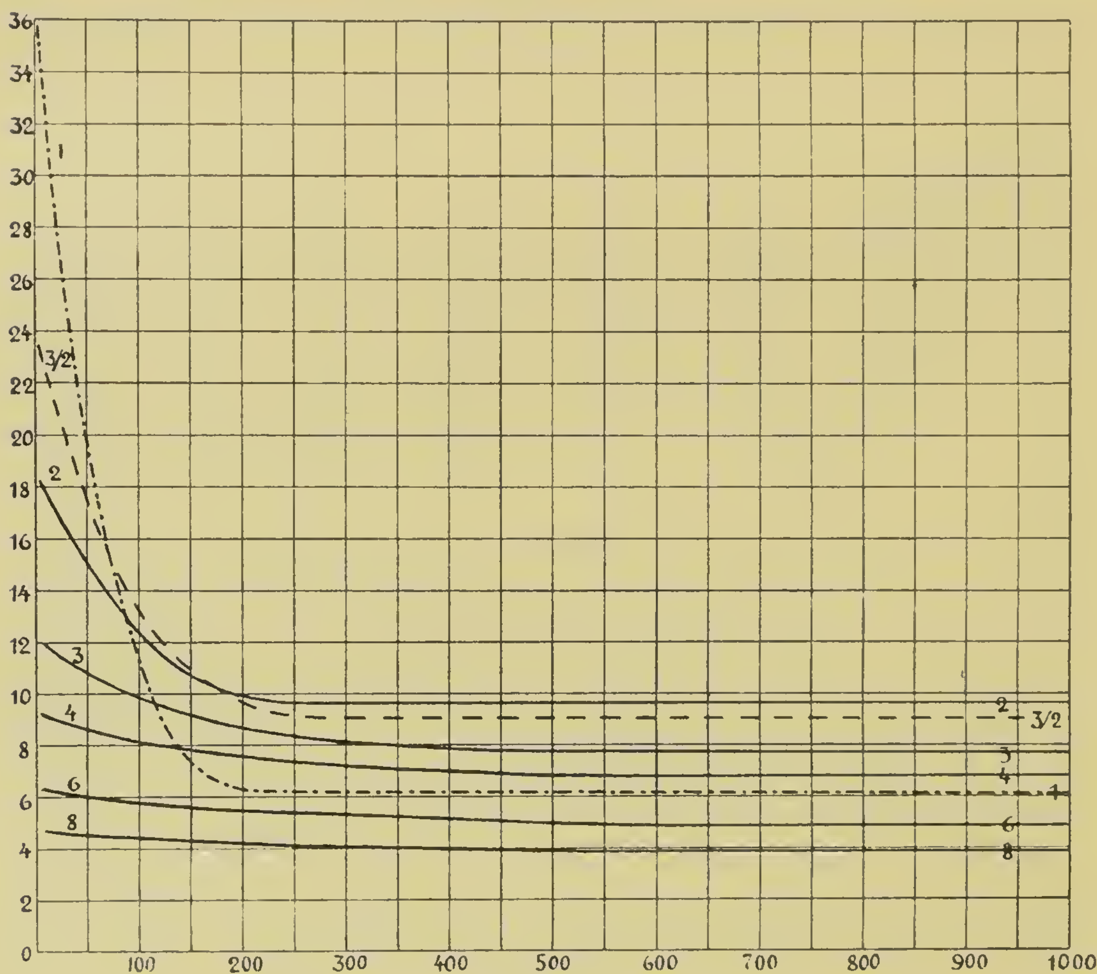


Fig. 8.

die mit „8“ bezeichnete Kurve sinkt fast nicht, so daß die sukzessiven Hebungen also hier gleich groß sind. *Während einer Pause von 10 Sek. wird erfahrungsmäßig eine vollständige Erholung erreicht.* Bei kürzeren Intervallen kann dies aber nicht stattfinden; deshalb sinken die Kurven um so stärker, je schneller das Tempo, also je kürzer die Pausen sind. Wenn die bei einem beliebigen Tempo pro Sekunde geleistete Arbeit so klein geworden ist, daß der Stoffverbrauch durch den stetigen Stoffwechsel ersetzt werden kann, so besteht Gleichgewicht zwischen Dissimilation und Assimilation, und die

sukzessiven Hebungen werden gleich groß. Die Figur 8 zeigt, daß dieser Zustand bei jedem Tempo schließlich erreicht wird, indem alle Kurven nach einer gewissen Zeit in gerade, mit der Abszissenachse parallele Linien übergehen. Die relative Lage dieser Geraden können wir hier nicht erklären; wir werden zu dieser Frage in Kapitel 14 zurückkommen. Nur eine für die Erklärung wesentliche Tatsache muß schon hier nachgewiesen werden.

Mißt man gleichzeitig mit der ausgeführten Muskelarbeit die ausgeatmete Kohlensäuremenge, so zeigt es sich, daß diese letztere keineswegs der ersteren proportional schwankt. Im

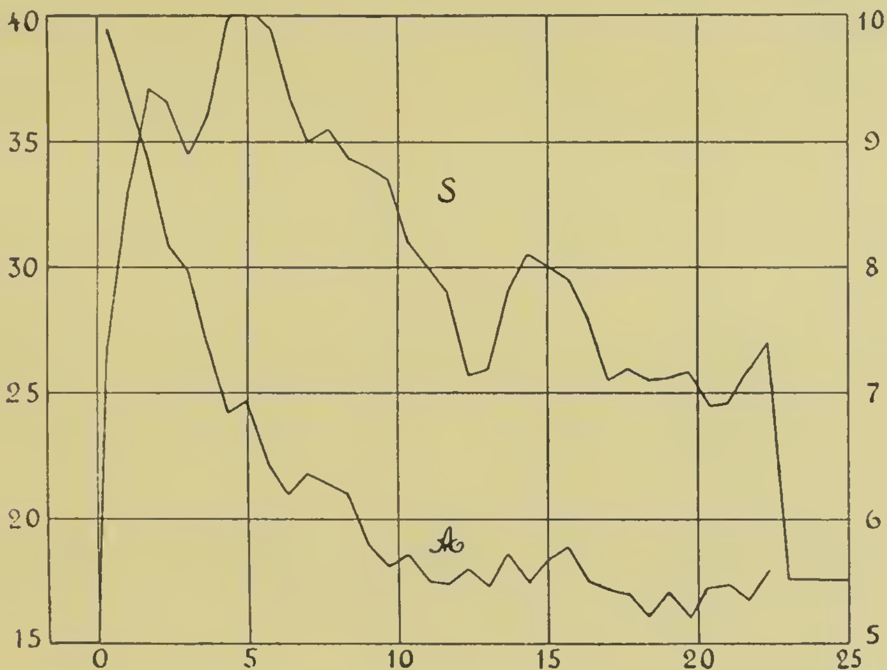


Fig. 9.

Gegenteil; während die Arbeit fortwährend abnimmt, steigt anfangs das Volumen der pro Sekunde ausgeatmeten Kohlensäure bis zu einem Maximum, um dann abzunehmen. Diese Abnahme fängt kurz vor dem Momente an, wo die Arbeit ihren konstanten Wert erreicht hat. Als typisches Beispiel ist in der Figur 9 eine graphische Darstellung der Muskelarbeit und der gleichzeitigen Kohlensäureproduktion gegeben. Die Arbeit wurde nach der Methode der optimalen Hubhöhe ausgeführt; das Tempo war 30 Hebungen pro Minute; es wurde aber hier nicht mit dem Zeigefinger, sondern mit der ganzen Hand gearbeitet, weshalb die pro Sekunde geleistete Arbeit bedeutend größer als in den vorigen Versuchen geworden ist. Als Abszisse ist die Zeit in Minuten abgesetzt;

die Kurve A stellt die Arbeit, in kg-cm gemessen, dar; die Ordinatenwerte dieser Kurve sind links abzulesen. Die Kurve S zeigt die gleichzeitige Variation des Stoffwechsels; die rechts abzulesenden Ordinatenwerte geben die Größe der Kohlensäuremenge in cm^3 pro Sekunde an. Vor und nach der Arbeit ist der gemessene Niveauwert dieser Größe abgesetzt.

Aus der graphischen Darstellung ersieht man, daß die Zersetzungsprodukte bei weitem nicht so schnell aus dem Organismus entfernt werden, wie sie entstehen. Wäre dies der Fall, so müßte das Kohlensäurevolum fortwährend mit der Arbeit abnehmen. Aus der tatsächlichen Form der Atemkurve läßt sich daher schließen, daß *die Zersetzungsprodukte sich anfangs in den Muskeln und im Blute häufen*; durch die wachsende Menge derselben wird dann nach und nach eine tiefere Atmung ausgelöst. Die verstärkte Atmung reicht indes, wie die Figur 9 zeigt, nicht sofort hin, um die vorhandenen und sich fortwährend bildenden Zersetzungsprodukte zu entfernen; erst nachdem die Arbeit fast auf ihren kleinsten Wert herabgesunken ist, wird ein Überschuß von Zersetzungsprodukten entfernt, so daß die Kohlensäuremenge wieder abnehmen kann, um schließlich konstant zu werden. Indem die Arbeit aufhört, sinkt die Menge der ausgeatmeten Kohlensäure schnell auf den Niveauwert herab.

Die bisher dargestellten Gesetze der Muskelarbeit beziehen sich ausschließlich auf die Verkürzungszuckungen. Wir können indes leicht hiernach die Eigentümlichkeiten solcher Arbeitskurven erklären, die man erhält, wenn die Arbeit in der *Spannung einer steifen Feder* besteht. In diesem Falle kann sich der Muskel nur wenig verkürzen, indem der wachsende Gegenzug der gespannten Feder sehr bald der Verkürzung des Muskels eine Grenze setzt. Wenn die Feder so steif ist, daß ihre Formveränderung fast unmerklich wird, dann verhält sich der Muskel also ungefähr, als ob er mit dem größten Gewicht belastet wäre, das er eben zu heben vermag, und die Federspannung entspricht mithin zunächst diesem maximalen Gewichte. Die geleistete äußere Arbeit wird unter diesen Verhältnissen äußerst gering (vgl. Tab. 2 und Fig. 4), während die gesamte umgewandelte Energie ihren maximalen Wert erreicht (Tab. 3 und 4). Der Muskel ermüdet daher viel schneller, als wenn er sich mehr verkürzen kann, und wenn das Tempo eine gewisse Geschwindigkeit überschreitet, wird die Ermüdung schließlich so groß, daß die Feder über-

haupt nicht mehr gespannt werden kann: die Arbeit stockt. Die Arbeitskurve wird also in diesem Falle „begrenzt", so wie es auch vorkommt, wenn mit einem konstanten Gewichte so lange gearbeitet wird, daß das Gewicht schließlich nicht gehoben werden kann. In solchen Fällen kann man, wenn die Arbeit aufgehört hat, mit einem kleineren Gewichte oder einer schlafferen Feder noch viel Arbeit ausführen. Ergographen mit konstanter Belastung oder mit Federn sind daher unbrauchbar, wenn es sich um die Bestimmung der totalen Arbeit handelt, die ein Muskel überhaupt leisten kann. Dagegen sind die Federergographen (Dynamometer) aus praktischen Rücksichten allen anderen vorzuziehen, wenn es nur auf die Bestimmung der Schwankungen der Arbeit unter gegebenen Umständen ankommt[1]).

Vierzehntes Kapitel.

Die Schwankungen des Biotonus.

Einige der im vorhergehenden besprochenen Lebensäußerungen und Tätigkeiten können ununterbrochen vorgehen, aber nur eine einzige derselben, nämlich die Atmung, muß kontinuierlich stattfinden, um das Leben zu erhalten. In betreff der übrigen ist eine Kontinuität nicht notwendig, und die meisten derselben treten auch nur periodisch ein. Eine Zelle, von einer Nahrungsflüssigkeit umgeben, die stets erneuert wird, kann vielleicht fortwährend Stoff aufnehmen: die meisten einzelligen und höheren Organismen nehmen indes nur periodisch Nahrung auf, und die mit der Assimilation in Verbindung stehenden Tätigkeiten treten mithin nur dann ein, wenn gewisse äußere Bedingungen vorhanden sind. Dasselbe gilt, wie gesagt, von verschiedenen anderen Lebensäußerungen, z. B. von den Bewegungen der kontraktilen Substanz und — bei den höheren Organismen — von den Tätigkeiten des Nervensystems. *Eine solche äußere Veränderung, die eine bestimmte Lebensäußerung eines Organs oder eines Organismus herbeiführt, nennt man einen Reiz.* Das eben Entwickelte läßt sich also kürzer folgendermaßen ausdrücken: *die Lebensäußerungen treten im allgemeinen nur auf Veranlassung bestimmter Reize ein.*

---

[1]) Lehmann: Körperliche Äußerungen psychischer Zustände. II. Teil, S. 118 f. und 204 f. Lehmann & Pedersen: Das Wetter und unsere Arbeit. Leipzig 1907. S. 125—129.

Als Reize können mechanische, thermische, elektrische, photische und chemische Veränderungen dienen; jeder Organismus oder jedes Organ ist aber keineswegs für jeden dieser Reize gleich empfänglich. Die meisten Organe zeigen eine besondere Empfänglichkeit für einen ganz bestimmten Reiz, der sie viel leichter als irgend ein anderer erregt; *derjenige Reiz, für welchen eine solche spezifische Disposition besteht, wird der adäquate genannt.* Da bei jeder Veränderung einer Masse stets eine gewisse Inertie zu überwinden ist, so muß ein Reiz gegebener Art immer eine gewisse Stärke haben, um überhaupt eine Tätigkeit hervorzurufen. Je nach der Reizbarkeit, der Empfänglichkeit eines Organs für einen bestimmten Reiz, variiert dieses Minimum der Reizstärke, *der Schwellenwert,* das eine Tätigkeit auszulösen vermag; der Schwellenwert kann also einfach als Maß der Reizbarkeit eines Organs genommen werden. Mit wachsender Stärke des Reizes wächst gewöhnlich auch die Stärke der dadurch hervorgerufenen Lebensäußerungen, jedenfalls bis zu einem bestimmten Optimum; die stärkesten Reize wirken fast immer lähmend.

Indem die meisten Lebensäußerungen also nur periodisch, von bestimmten Reizen abhängig, auftreten, ist der Zustand der betreffenden Organe fortwährend Schwankungen unterworfen. Die Wirkung eines gegebenen Reizes muß aber vom Zustande des betreffenden Organs abhängig sein. Für die experimentelle psychologische Forschung ist es daher von der größten Bedeutung, diese Schwankungen zu kennen, weil für die Wirkung der Reize sich nur dann bestimmte Gesetze nachweisen lassen, wenn man bei jeder Reizung von einem konstanten Zustande des Organs ausgeht. Konstant bleibt die Arbeitsfähigkeit eines Organs nur dann, wenn die Zufuhr chemischer Energie dem jeweiligen Verbrauche entspricht, oder mit anderen Worten, wenn der Biotonus $\frac{A}{D} = 1$. Wir dürfen davon ausgehen, daß ein solcher Gleichgewichtszustand besteht, wenn ein Organ genügend lange ausgeruht hat, nicht gereizt worden ist. Es wird dann einen gewissen Arbeitsvorrat besitzen, der zwar vom Ernährungszustande des gesamten Organismus abhängig ist, in einem gesunden Organismus aber während einer kürzeren Zeit nur wenig schwanken kann. Wir dürfen daher annehmen, daß ein konstanter Reiz, auf ein in diesem *Ruhezustand* sich befindendes Organ einwirkend, eine konstante Tätigkeit desselben hervorrufen wird. Sorgt

man also nur dafür, die Zwischenzeit sukzessiver Reizungen so auszudehnen, daß das Organ jedesmal in den Ruhezustand zurückkehren kann, so ist die Tätigkeit nur von der Art und Stärke des Reizes bestimmt. Ein derartiges Beispiel sahen wir schon oben (S. 76) bei der Muskelarbeit, indem ein ausgeruhter Muskel jede zehn Sekunden eine konstante, maximale Arbeit leisten kann; bei schnellerer Reizfolge dagegen nimmt die Größe der Arbeit stets ab. Auch bei Reizung der Sinnesorgane erhält man, wie wir später sehen werden, konstante Wirkungen eines gegebenen Reizes, wenn die Organe sich im Ruhezustande befinden, während die Wirkung sonst recht schwankend sein kann. Wir können also feststellen:

Wenn ein Organ genügend lange ruht, stellt sich schließlich Gleichgewicht zwischen Dissimilation und Assimilation ein. Ein kurzdauernder Reiz konstanter Größe ruft dann eine konstante Wirkung hervor, wenn die Reizung nicht häufiger stattfindet, als daß das Organ jedesmal wieder in den Ruhezustand zurückkehren kann.

Versuchen wir jetzt zu entscheiden, wie der Biotonus sich verändern wird, wenn ein dauernder Reiz oder eine Reihe im bestimmten Tempo aufeinander folgender Reize von konstanter Größe auf ein Organ im Ruhezustand einwirkt. Da es sich hier um quantitative Änderungen der Dissimilation und Assimilation handelt, läßt sich das Problem nicht im allgemeinen lösen: wir müssen von bestimmten quantitativen Voraussetzungen ausgehen. Nun wissen wir zwar nicht, eine wie große Dissimilation von einem gegebenen Reize bewirkt wird; nur so viel steht fest, daß die Dissimilation, wenn nicht besondere Umstände vorliegen, der Reizstärke proportional anzunehmen ist. Es können aber zwei verschiedene Fälle hier eintreten. Entweder wird die vom Reize hervorgerufene Zersetzung einfach der physischen Energie des Reizes äquivalent, oder aber der Reiz wirkt nur auslösend, wie der Funke im Pulverturm, so daß die sich umwandelnden Energiemengen vielmal größer als die Energie des Reizes sind. Der erstere Fall kommt wahrscheinlich in den Sinnesorganen vor. Die vom Reize unmittelbar hervorgerufenen Veränderungen, die ihrerseits die Erregung des Nerven bewirken, sind unzweifelhaft als der Reizenergie äquivalent anzunehmen, weil es sich hier nur um mechanische Arbeit oder chemische Zersetzungen handelt, die durch Zufuhr äußerer Energie zustande kommen. Der letztere Fall dagegen findet z. B. zweifellos in den Muskeln statt, indem die Energie der auslösenden motorischen Nervenerregung

unermeßlich klein im Verhältnis zu der Arbeit ist, die von dem sich kontrahierenden Muskel geleistet wird. Da aber auch in einem solchen Falle die vom Organ geleistete Arbeit von der Reizstärke abhängig ist, wird eine einfache Proportionalität zwischen Reiz und Zersetzung die wahrscheinlichste Annahme, von welcher wir ausgehen können. In den beiden Fällen wird also die Dissimilation $D = q \cdot R$, wo R die Reizstärke, q eine Konstante ist, die bei den Auslösungserscheinungen nur vielmal größer als bei den äquivalenten Veränderungen wird.

Eine konstante Wirkung eines gegebenen Reizes erhalten wir aber nur, wenn das Organ sich in einem konstanten Zustande befindet, einen konstanten Arbeitsvorrat K besitzt; mit abnehmenden Werten des K nimmt die Leistung eines Organs erfahrungsmäßig immer ab. Wir können daher die Dissimilation pro Zeiteinheit $D = q \cdot R \cdot K = c \cdot K$ annehmen, indem $q \cdot R = c$ gesetzt wird. In betreff der Größe der Assimilation wissen wir, daß sie, dem Gesetze der chemischen Massenwirkung zufolge, teils von der Art des chemischen Vorganges, teils von der Konzentration der Lösungen, d. h. von der jeweilig vorhandenen Menge der Dissimilationsprodukte und der zum Aufbau der Biogene nötigen Stoffe, abhängig ist. Diese Stoffe werden dem Organe mit dem Blute zugeführt, und da stets frisches Blut das Organ durchspült, können die sich aufbauenden Biogene dem Blute zweifellos nicht in jedem Momente so viel Stoff entnehmen, daß die Konzentration desselben merklich verändert wird. Unter diesen Umständen kann Gleich. 5a für die Assimilation als gültig angesehen werden, d. h. unabhängig von der Menge der vorhandenen Dissimilationsprodukte wird pro Zeiteinheit ein konstanter Bruchteil, α, derselben wieder aufgebaut. Es wird daher auch keinen Unterschied machen, ob der Reiz kontinuierlich wirkt oder periodisch einsetzt; bildet sich pro Zeiteinheit eine bestimmte Menge Zersetzungsprodukte, so kann zwar je den Umständen nach der Wert α variieren, unter gegebenen Umständen wird aber α einen konstanten Wert haben.

Von diesen Voraussetzungen ausgehend können wir leicht den Vorgang im tätigen Organe berechnen. Es sei der Arbeitsvorrat beim Anfang des Vorganges $V_1 = K$. In der Zeiteinheit 1 sind dann, den Voraussetzungen zufolge, die Dissimilation $D_1 = c \cdot K$, die Assimilation $A_1 = \alpha \cdot c \cdot K$ und die Summe der nicht aufgebauten Zersetzungsprodukte $U_1 = D_1 - A_1 = c \cdot K \cdot (1 - \alpha)$. Beim Anfang der Zeiteinheit 2 ist:

$$V_2 = K - U_1 = K[1 - c(1 - \alpha)].$$

In dieser Zeiteinheit wird:

$$D_2 = c \cdot V_2 = cK[1 - c(1 - \alpha)].$$

Folglich ist die Summe der nicht aufgebauten Zersetzungsprodukte:

$$U_2 = U_1 + D_2 = c \cdot K[1 - (1 - c)(1 - \alpha)]$$

und die Assimilation erhält die Größe:

$$A_2 = \alpha \cdot U_2 = \alpha c K[1 - (1 - c)(1 - \alpha)].$$

Der Arbeitsvorrat beim Anfang der Zeiteinheit 3 wird:

$$V_3 = V_2 - D_2 + A_2 = K[1 - c(1 - \alpha) - c(1 - c)(1 - \alpha)^2]$$

und ferner hat man:

$$D_3 = cV_3 = cK[1 - c(1 - \alpha) - c(1 - c)(1 - \alpha)^2]$$

$$U_3 = U_2 - A_2 + D_3 = cK[1 + (1 - c)(1 - \alpha) + (1 - c)^2(1 - \alpha)^2]$$

$$A_3 = \alpha U_3 = \alpha c K[1 + (1 - c)(1 - \alpha) + (1 - c)^2(1 - \alpha)^2]$$

Hieraus ergeben sich die folgenden allgemeinen Ausdrücke:

$$U_T = cK[1 + (1 - c)(1 - \alpha) + (1 - c)^2(1 - \alpha)^2 + \ldots + (1 - c)^{T-1} \cdot (1 - \alpha)^{T-1}] = cK \frac{1 - (1 - c)^T \cdot (1 - \alpha)^T}{1 - (1 - c)(1 - \alpha)} \quad \ldots \text{(Gl. 11)}$$

$$D_T = cK[1 - c(1 - \alpha) U_{T-1}] \quad \ldots\ldots \text{(Gl. 12)}$$

$$A_T = \alpha U_T \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \text{(Gl. 13).}$$

Aus den Gleichungen 11 bis 13 können wir nun eine ganze Reihe mit der Erfahrung übereinstimmenden Tatsachen ableiten, so daß den Gleichungen trotz den zum Teil willkürlichen Voraussetzungen ihrer Ableitung dennoch eine approximative Gültigkeit zugeschrieben werden darf. Wir untersuchen jetzt die Bedingungen dafür, daß der Biotonus $\frac{A}{D} = 1$, also $A_T = D_T$. Die Differenz:

$$D_T - A_T = cK\left[1 - c(1 - \alpha) \frac{1 - (1 - c)^{T-1} \cdot (1 - \alpha)^{T-1}}{1 - (1 - c) \cdot (1 - \alpha)}\right] - \alpha c K \frac{1 - (1 - c)^T \cdot (1 - \alpha)^T}{1 - (1 - c) \cdot (1 - \alpha)} \quad \ldots\ldots \text{(Gl. 14)}$$

wird erstens gleich Null sein, wenn $\alpha = 1$; dann ist: $A_T = c \cdot K = D_T$.

Dieser Fall, in dem die Dissimilation konstant die anfängliche Größe hat, entspricht u. a. dem schon früher erwähnten, wo ein Reiz in einem so langsamen Tempo wiederholt wird, daß das Organ während des Intervalles zu dem Gleichgewichtszustande zurückkehren kann. Die Dissimilation kann nämlich durch einen starken, kurzdauernden Reiz fast momentan ausgelöst werden; die Assimilation dagegen erfordert

meistens einige Zeit, um den Gleichgewichtszustand wieder herbeizuführen, und folglich kann die Dissimilation gewöhnlich nur bei periodischer Reizung in langsamem Tempo ihre anfängliche Größe erhalten.

Wird dagegen α ein echter Bruch, so wird auch $1 - \alpha$ ein solcher Bruch, und da c ebenfalls ein positiver Bruch ist, wird $1 - (1 - c)^T \cdot (1 - \alpha)^T$ auch ein positiver echter Bruch. Setzen wir:

$$1 - (1 - c)^T \cdot (1 - \alpha)^T = 1 - (1 - c)^{T-1} \cdot (1 - \alpha)^{T-1} = B \quad \text{(Gl. 15)}$$

was bei einigermaßen großen Werten des T zutreffen wird, so erhalten wir aus Gleich. 14, indem $1 - (1 - c)(1 - \alpha) = c + \alpha - \alpha c$:

$$D_T - A_T = cK(1 - B) = cK(1 - c)^T (1 - \alpha)^T \quad \text{(Gl. 16)}.$$

Da diese Differenz positiv ist, so ist mithin $D_T > A_T$ oder der Biotonus $\frac{A}{D} < 1$. Aus Gleich. 12 ersieht man, daß D_T dann mit wachsenden Werten des T fortwährend abnimmt, indem U_{T-1} mit wachsendem T zunimmt. Wir können also feststellen:

Wenn die Assimilation nicht ausreicht, um die bei der Tätigkeit eines Organs stattfindende Dissimilation auszugleichen, so wird der Biotonus $\frac{A}{D} < 1$; *die Dissimilation und damit die geleistete Arbeit nimmt aber dann bei fortgesetzter Arbeit fortwährend ab. Diese Erscheinung ist die Ermüdung des Organs.*

Wird T so groß, daß $(1 - c)^T$ gleich Null gesetzt werden kann, so erhalten wir aus Gleich. 16: $D_T - A_T = 0$, d. h. der Biotonus wird wieder konstant. Wir kommen somit zu dem Satze:

Wenn ein Organ bei der Arbeit ermüdet, erreicht es schließlich einen Zustand, wo seine Tätigkeit konstant wird. Das Organ ist dann an den Reiz adaptiert.

Aus Gleich. 16 ist ferner ersichtlich, daß dieser Adaptationszustand um so früher erreicht wird, je größer c ist. Mit wachsenden Werten des c wird nämlich $1 - c$ kleiner, und je kleiner $1 - c$ ist, um so kleiner braucht T zu sein, damit $(1 - c)^T$ praktisch gleich Null gesetzt werden kann. Durch die Größe c ist aber die Leistung pro Zeiteinheit, alles übrige gleich, bestimmt. Wir finden also:

Je größer die Leistung eines Organs pro Zeiteinheit ist, um

so schneller wird auch bei wachsender Ermüdung der Adaptationszustand erreicht, wo die Leistung konstant bleibt.

Alle erwähnten Ergebnisse unserer theoretischen Betrachtungen werden von den Untersuchungen über die Muskelarbeit völlig bestätigt. Die Fig. 8 zeigt eben, daß erstens die Muskeln um so mehr ermüden, je größer die Leistung pro Zeiteinheit ist, daß zweitens die Größe der Arbeit schließlich konstant wird, und daß drittens dieser Adaptationszustand um so früher eintritt, je größer die anfangs pro Zeiteinheit geleistete Arbeit ist.

Die Größe dieser schließlichen konstanten Leistung erhalten wir aus Gleich. 12 oder 13, indem $(1-c)^T \cdot (1-\alpha)^T = 0$ gesetzt wird. Man findet dann:

$$D_T = A_T = \frac{\alpha c K}{\alpha + c - \alpha c} = \frac{\alpha K}{1 - \alpha + \frac{\alpha}{c}} \quad \ldots \text{(Gl. 17).}$$

Da $\frac{\alpha}{c}$ mit wachsenden Werten des c abnimmt, die übrigen Größen aber konstant sind, so wird mithin D_T um so größer, je größer c wird. Es ergibt sich also: *Je größer die Leistung eines Organs pro Zeiteinheit ist, um so größer wird auch die schließliche konstante Leistung im Adaptationszustande.*

Die Fig. 8 zeigt, daß dieser Satz für die Muskelarbeit keine völlige Gültigkeit beanspruchen kann, indem er zwar für die in den langsameren Tempos ausgeführten Arbeiten, dagegen nicht für die größten Leistungen zutrifft. Verschiedene Ursachen tragen dazu bei, diese Abweichungen hervorzubringen. Es wurde oben (S. 78) nachgewiesen, daß die bei der Muskelarbeit gebildeten Zersetzungsprodukte, die aus dem Organismus entfernt werden sollen, nicht sofort ausgeschieden werden können. Sie häufen sich daher u. a. in den Muskeln auf und setzen auf irgend eine Weise die Leistungsfähigkeit derselben herab. Dies läßt sich direkt an einem ausgeschnittenen Muskel nachweisen. Ist der Muskel durch fortgesetzte Arbeit unfähig geworden, sich zu kontrahieren, so braucht er nur mit physiologischer Kochsalzlösung durchgespült zu werden, um wieder eine bedeutende Arbeit leisten zu können. Da also die Leistungsfähigkeit durch einfache Entfernung der Zersetzungsprodukte vergrößert wird, so ist es verständlich, daß eben die größten Leistungen, die eine relativ große Menge Zersetzungsprodukte hervorbringen, hierdurch besonders stark beeinträchtigt werden. Ferner hat diese Häufung der Zersetzungs-

produkte im unversehrten Organismus wahrscheinlich auch zentrale Wirkungen, indem sie die willkürliche Innervation hemmt; da die Dissimilation aber der Reizstärke proportional ist, nimmt die geleistete Arbeit mit der Reizstärke ab.

Bisher ist vorausgesetzt worden, daß die Leistung eines Organes durch die Dissimilation, die pro Zeiteinheit umgewandelte chemische Energie bestimmt sei. Bei den Muskeln trifft dies zweifellos zu; die geleistete äußere Arbeit kann nur auf Kosten der bei jeder Kontraktion umgewandelten Energie entstehen. In andern Fällen, z. B. bei der Erregung der Nerven, ist die Wirkung eines Reizes wahrscheinlich nicht durch die in jedem Momente zersetzte Stoffmenge, sondern durch die Summe der in einer gegebenen Zeit dissimilierten Stoffmenge, d. h. die Abnahme des Arbeitsvorrates, bestimmt. Wie wir später (Kap. 16) sehen werden, ist aller Wahrscheinlichkeit nach die Stärke der Nervenerregung von der durch den Reiz verursachten Konzentrationsverminderung der zersetzbaren Stoffe abhängig. Bei kontinuierlicher Reizung ist die jeweilige Erregung mithin nicht durch D_T, sondern durch U_T die gesamte Wirkung des Reizes bestimmt. Die im vorhergehenden entwickelten Sätze, das Verhältnis $\frac{A}{D}$ betreffend, verlieren selbstverständlich deshalb nicht ihre Gültigkeit; um die entscheidende Wirkung eines Reizes zu bestimmen, müssen wir aber jetzt außerdem die Schwankungen des U_T untersuchen.

Da wir oben (S. 82) $q \cdot R = c$ gesetzt haben, können wir, um die Abhängigkeit der Wirkung von der Reizstärke nachzuweisen, diesen Wert in die Gleichung 11 einsetzen. Es wird dann:

$$U_T = qKR\,[1 + (1-qR)(1-\alpha) + \cdots\cdots + (1-qR)^{T-1}\cdot(1-\alpha)^{T-1}]$$
$$= qKR\,\frac{1-(1-qR)^T\cdot(1-\alpha)^T}{1-(1-qR)(1-\alpha)} \quad \ldots\ldots \text{(Gl. 18).}$$

Hier wird $U_T = q \cdot K \cdot R$, wenn $\alpha = 1$, oder mit andern Worten: wenn die Assimilation die in jeder Zeiteinheit stattfindende Dissimilation ausgleichen kann, so wird die Erregung konstant, nur vom Anfangszustande des Organs und der Reizstärke abhängig. Wie schon oben bemerkt (S. 84), wird dieser Fall bei kontinuierlicher Reizung nur selten stattfinden können; es entspricht diesem Falle mithin eine periodische Reizung mit genügend großen Intervallen.

Wir können also davon ausgehen, daß bei kontinuierlicher

Reizung $\alpha < 1$. Aus Gleich. 18 ist dann ersichtlich, daß U_T mit R und T wächst. Sind qR, α und T nur klein, so wird die Größe: $(1 - qR)^{T-1} \cdot (1 - \alpha)^{T-1}$ nur wenig von 1 verschieden sein, und man erhält:

$$U_T = q \cdot K \cdot R \cdot T \text{ . . . . (Gl. 19).}$$

Für gegebene Werte des q und α wird Gleich. 19 mit wachsenden Werten des T um so schneller ungültig werden, je größer R ist, indem der Bruch $1 - qR$ mit wachsenden Werten des R kleiner wird:

Bei kurzdauernden Reizungen wächst die Wirkung sowohl der Reizstärke als der Dauer der Reizung proportional, jedoch nur bis zu einer gewissen Reizdauer, die um so kleiner ist, je größer die Reizstärke.

Aus Gleich. 18 ist ferner ersichtlich, daß U_T mit wachsenden Werten des T um so weniger wächst, je größer R ist. Wenn $(1 - qR)_T$ gleich Null gesetzt werden kann, wird U_T konstant, was also um so früher eintreten muß, je größer R ist.

Mit wachsender Reizdauer wird die Wirkung des Reizes verhältnismäßig weniger wachsen und mithin um so schneller eine konstante maximale Größe erreichen, je größer die Reizstärke ist. Wenn ein konstanter Reiz eine konstante Wirkung hervorruft, so ist das Organ an den Reiz adaptiert.

Wir werden später (Kap. 28 und 34) sehen, daß diese Sätze in betreff der unmittelbaren Wirkung des Reizes auf die empfänglichen Schichten eines Sinnesorganes von der Erfahrung völlig bestätigt werden. Bis so weit können wir also die Gesetze der Reizwirkung aus gewissen einfachen Voraussetzungen folgern. Nun treten aber die bei jeder organischen Tätigkeit unvermeidlichen Komplikationen hinzu, die sich nicht in Rechnung ziehen lassen. Wir sahen schon oben, daß die aus dem Organismus nicht entfernten Zersetzungsprodukte bei der Muskelarbeit einen nicht zu berechnenden Einfluß ausüben. Dasselbe kann bei der Erregung eines Sinnesorganes der Fall sein. Wenn die Zersetzungsprodukte gegen das Eindringen des Reizes Widerstand leisten, so wird die Dissimilation und damit auch die Assimilation kleiner. Es wird dann zwar auch eine konstante maximale Wirkung erreicht; sie wird aber nicht so groß, wie sie der Gleichung 18 zufolge sein sollte. Werden die äußeren reizempfänglichen Schichten aber für den Reiz fast undurchdringlich, indem die Zersetzungs-

produkte sich besonders hier häufen, während die Assimilation in den inneren Schichten fortdauert, so wird mithin $A_T > D_T$ U_T kann dann nicht konstant sein, sondern muß wieder abnehmen, bis sich schließlich ein Gleichgewichtszustand einstellt.

Die Sache kann indes noch komplizierter werden. Wir sahen oben (S. 53), daß die Tätigkeit eines Organs fast immer dem Organe einen stärkeren Blutstrom zuführt. Ein solcher vasomotorischer Reflex wird wahrscheinlich durch die sich häufenden Zersetzungsprodukte ausgelöst, erfordert aber eine gewisse Zeit um zustande zu kommen. Hat nun die Wirkung der Reizung, wegen der sich häufenden Zersetzungsprodukte, schon abgenommen, ehe der stärkere Blutstrom einsetzt, so muß ein nochmaliges Ansteigen der Wirkung eintreten, indem erstens die Zersetzungsprodukte zum Teil ausgespült werden, und zweitens eine lebhaftere Assimilation eintritt. Die Dissimilation wächst daher wieder, bis ein neues, sekundäres Maximum erreicht worden ist. Hier muß dann, wie früher, die Wirkung wieder etwas abnehmen, indem die Zersetzungsprodukte sich nochmals häufen, bis schließlich Gleichgewicht zwischen Dissimilation und Assimilation eintritt und die Wirkung konstant wird.

Wir werden später (Kap. 28) sehen, daß die hier erwähnten verschiedenen Fälle sich tatsächlich unter bestimmten Bedingungen beobachten lassen.

Aus dem Entwickelten geht also hervor, daß es nur zwei Zustände eines Organes gibt, in denen ein gegebener Reiz eine konstante Wirkung hervorbringen kann, nämlich den *Ruhezustand* und den *Adaptationszustand*, wo sich das Organ dem Reize angepaßt hat. Der erstere wird in den meisten Fällen bei experimentellen Untersuchungen der Ausgangspunkt sein; er läßt sich aber nur dann erhalten, wenn es sich um kurzdauernde, periodisch eintretende Reizungen handelt, die mit nicht zu kleinen Intervallen aufeinander folgen. Bei dauernden oder periodischen Reizungen im schnellen Tempo geht das Organ in den Adaptationszustand über, und erst dann wird die Wirkung des Reizes konstant. Ist das Organ aber an einen bestimmten starken Reiz adaptiert, so werden auch andere dauernde Reize konstante Wirkungen hervorbringen können, indem die Adaptation beim Aufhören des ursprünglichen Reizes nicht sofort verschwindet. Dem Anscheine nach hat es in den meisten Fällen keinen Zweck, neue Reize auf ein im voraus stark gereiztes Organ einwirken zu lassen; indes werden

tatsächlich die Gesichtswahrnehmungen des täglichen Lebens zumeist unter solchen Verhältnissen gemacht. Die Netzhaut ist gewöhnlich an die Tageshelligkeit adaptiert und wird in diesem Zustande von den zahlreichen wechselnden Lichtreizen beeinflußt. Es hat daher ein besonderes Interesse, die Tätigkeit der „helladaptierten“ Netzhaut zu bestimmen; da die Verhältnisse aber hier viel mehr verwickelt sind als bei der „dunkeladaptierten“ Netzhaut, d. h. der Netzhaut im Ruhezustande, wird man immer von der letzteren ausgehen, wenn man die einfachen Gesetze nachzuweisen sucht.

Wenn ein Organ während der Arbeit vom Ruhezustande in den Adaptationszustand übergeht, wird die Dissimilation, wie eben nachgewiesen, zumeist abnehmen; sie kann aber auch mitunter zunehmen, wenn angehäufte Zersetzungsprodukte durch einen stärkeren Blutstrom ausgespült werden. Es ist jedoch kaum möglich, daß die pro Zeiteinheit dissimilierte Stoffmenge wegen einer lebhafteren Blutversorgung über die Größe der Dissimilation im unermüdeten Organe hinauswachsen könne. Da die Größe der Dissimilation nämlich vom vorhandenen Arbeitsvorrat abhängig ist, wird bei konstanter Reizstärke eine größere Leistung nur dann eintreten können, wenn der Arbeitsvorrat während der Arbeit größer als im unermüdeten Organe wird. Dann müßte aber die Assimilation nicht nur den jeweiligen Verbrauch decken, sondern auch einen Überschuß zersetzbaren Stoffes herbeiführen können, was unmöglich ist, weil jeder Überschuß sofort wieder zersetzt werden würde. *Die Leistung eines tätigen Organs kann wegen einer lebhafteren Blutversorgung während der Tätigkeit nicht über die Anfangsleistung des unermüdeten Organs hinauswachsen.* Wo Schwankungen der erwähnten Art sich experimentell untersuchen lassen, findet man denn auch in der Tat, daß die Leistung nach dem Eintreten des vasomotorischen Reflexes die maximale Anfangsleistung nicht erreicht (vgl. Kap. 28, Fig. 39).

Ein Wachstum während der Tätigkeit kann mithin als ausgeschlossen angesehen werden. Dagegen wird, jedenfalls im zusammengesetzten Organismus, der lebhaftere Stoffwechsel auch einige Zeit nach dem Aufhören der Tätigkeit fortdauern, so daß die häufige Wiederholung einer Tätigkeit ein Wachstum, eine Anpassung des Organs an diese Tätigkeit herbeiführt. *Die durch Wiederholung einer Tätigkeit erreichte Adaptation des Organs an diese bestimmte Tätigkeit nennt man die Übung.* Die Bedeutung der Übung zeigt sich, wie aus dem täglichen

Leben genügend bekannt ist, bei allen sowohl psychischen als physiologischen Leistungen; ihre Wirkung ist aber je nach der Art der betreffenden Tätigkeiten etwas verschieden. Diese können in zwei Hauptgruppen geteilt werden. Einige Tätigkeiten bezwecken hauptsächlich die Leistung einer Arbeit von bestimmter Größe, während es sich bei anderen dagegen nicht um die Größe, sondern vielmehr um die Genauigkeit, die Präzision der Arbeit, handelt. Als Beispiel der ersten Gruppe kann die rohe Muskelarbeit, das Heben oder Tragen einer Last gegebener Größe angeführt werden; alle derartigen Arbeiten können wir *Kraftleistungen* nennen. Als Beispiel der zweiten Gruppe, die wir *Präzisionsarbeiten* nennen, können solche Muskelarbeiten dienen, bei welchen es sich mehr um Geschicklichkeit, Fingerfertigkeit usw. als um den Kraftaufwand handelt. Diesen Unterschied zwischen den beiden Arten von Arbeiten finden wir auch bei den psychischen Tätigkeiten wieder, und die Wirkung der Übung ist hauptsächlich durch diesen Unterschied bestimmt (vgl. Kap. 64).

Bei häufiger Wiederholung einer *Kraftleistung* wächst einfach die Stärke des Organs, so daß es immer größere Arbeiten auszuführen imstande wird. In betreff der Muskelarbeit läßt sich dies sehr leicht nachweisen, wenn ein Ungeübter nur täglich während einiger Minuten in konstantem Tempo ein Ergogramm ausführt. *Von Tag zu Tag wächst die in einer gegebenen Zeit geleistete Arbeit. Das Wachstum geht anfangs sehr schnell, dann aber immer langsamer, bis die Arbeit schließlich konstant wird*[1]). Eine gleichzeitige Bestimmung der Atemgröße zeigt übrigens die interessante Tatsache, daß das Atemvolum keineswegs der geleisteten Arbeit proportional, sondern langsamer wächst. Oder mit andern Worten: die größere Arbeit des geübten Muskels wird mit relativ geringerem Kraftaufwand ausgeführt als die kleinere Arbeit des ungeübten Muskels. Da nun aber jede Arbeit eine äquivalente Energie erfordert, kann selbstverständlich keine Rede davon sein, daß die größere Arbeit wirklich mittels einer geringeren Energieumwandlung zustande kommt. Wir haben aber oben gesehen, daß jede Muskelarbeit von zahlreichen Mitbewegungen begleitet wird, die ebenfalls Energie erfordern. Werden diese für die Ausführung der Arbeit unnötigen Mitbewegungen durch die Übung

[1]) Lehmann und Pedersen: Das Wetter und unsere Arbeit. 1907. S. 134 u. f.

immer mehr beschränkt, so läßt es sich dadurch erreichen, daß eine größere Leistung des geübten Organs dem gesamten Organismus weniger Energie kostet, als die kleinere Arbeit des ungeübten Organs. Die Übung hat also eine doppelte Wirkung: *einerseits wächst der Muskel, so daß er immer größere Arbeiten leisten kann, andererseits werden Mitbewegungen vermieden, so daß der gesamte Organismus ökonomischer arbeitet.*

Dieser Satz läßt sich, wie wir später sehen werden, so erweitern, daß er auch alle anderen Kraftleistungen umfaßt; die Muskelarbeit ist hier nur als Beispiel hervorgehoben.

Bei den *Präzisionsarbeiten* hat die häufige Wiederholung der Tätigkeit einen ganz analogen Einfluß. Weil der Kraftaufwand indes bei derartigen Arbeiten zumeist nur unbeutend ist, wird das Wachstum des tätigen Organs von untergeordneter Bedeutung. Eine um so größere Rolle spielt das Hinwegfallen der Mitbewegungen und sonstiger Vorgänge, die für die bezweckte Tätigkeit unnötig sind. Indem alle solche Nebenarbeiten nach und nach vermieden werden, geht die bezweckte Arbeit schneller und genauer von statten. Diese Wirkung der Übung ist aus dem täglichen Leben wohl bekannt. Jede komplizierte Muskelarbeit, die ein Zusammenspiel zahlreicher Muskeln erfordert (z. B. Schreiben, Radfahren, Schlittschuhlaufen usw.), muß erst erlernt werden, um dann bei wachsender Übung immer schneller und sicherer ausgeführt werden zu können. Aber wie der Stärke eines Muskels eine bestimmte Grenze gesetzt ist, so können auch die Geschwindigkeit und Genauigkeit einer Präzisionsarbeit eine bestimmte, individuell verschiedene Grenze nicht überschreiten. Die Wirkung der Übung ist somit auch hier anfangs am größten. Da diese Wirkung bei den Präzisionsarbeiten zunächst auf Veränderungen der Nerventätigkeit beruht, läßt sich eine Erklärung derselben erst im folgenden geben, wenn von den Nerven und ihren Tätigkeiten die Rede wird (Kap. 20).

Der *Biotonus des gesamten Organismus* kann wie der des einzelnen Organs Schwankungen unterworfen sein, indem die äußeren Lebensbedingungen sich verändern. Solche Schwankungen kommen normal schon bei der periodischen Nahrungsaufnahme vor. Wenn der Arbeitsvorrat, den der Organismus von der Nahrung aufgenommen hat, verbraucht worden ist, so stellt sich der Hunger ein, der zur neuen Nahrungsaufnahme reizt. Ähnliche normale, periodische Schwankungen der Arbeitsfähigkeit sind von den jährlichen

periodischen Veränderungen der Lichtstärke und der Temperatur abhängig [1]). Wenn die Größe der Veränderungen gewisse Grenzen nicht überschreitet, so sinkt die Arbeitsfähigkeit des Organismus beim Eintreten der ungünstigen Bedingungen, um wieder zu steigen, wenn die äußeren Verhältnisse günstiger geworden sind. Der Organismus adaptiert sich also, so weit möglich, an die veränderten Lebensbedingungen, indem seine Tätigkeit sich einfach nach demselben richtet. Dies geht aber nur bis zu einer gewissen Grenze; unter ein bestimmtes Minimum können die Nahrung, die Temperatur, der Luftdruck und ähnliches nicht herabsinken, ohne daß alle und jede Tätigkeiten aufhören. Der Organismus muß also sterben, wenn er nicht entweder den ungünstigen Bedingungen entfliehen oder selbst solchen Veränderungen unterliegen kann, daß das Leben unter den neuen Bedingungen möglich wird.

Das Fliehen vor den ungünstigen Bedingungen kommt im Tierreiche allgemein vor; außer den täglichen unregelmäßigen Wanderungen stellen zahlreiche Gattungen von Vögeln und Fischen jährlich regelmäßige Züge an. Noch interessanter sind indes die physiologischen Veränderungen, wodurch die Organismen sich den äußeren Verhältnissen anpassen. So sind der Winterschlaf und die dickere Bekleidung im Winter, die bei vielen in kalten Gegenden lebenden Tieren vorkommen, zweifellos Adaptationserscheinungen, wodurch sich die Tiere der unzureichenden Ernährung und der niedrigen Temperatur anpassen. Das Sinken der Arbeitsfähigkeit im Winter, das jedenfalls im Norden auch beim Menschen vorkommt, ist wohl zunächst als ein rudimentärer Winterschlaf aufzufassen. Etwas Ähnliches ist mit bezug auf den Luftdruck nachgewiesen. Bei einem niedrigen Luftdruck wird dem Organismus zu wenig Sauerstoff zugeführt, wodurch die Arbeitsfähigkeit sinkt; mit den am Meeresniveau vorkommenden Luftdruckschwankungen gehen daher unter gewissen Umständen analoge Variationen der Muskelkraft einher. Wenn aber Bewohner des Tieflandes in größeren Gebirgshöhen (1000 m oder mehr) Aufenthalt nehmen, so steigt ihre Muskelkraft sehr schnell auf die normale Höhe, obschon die dadurch eintretende Luftdruckverminderung (über 100 mm) viel größer ist, als sie am Meeresniveau stattfinden kann [2]). Dies rührt wahrscheinlich davon

---

[1]) Das Wetter und unsere Arbeit. S. 138. u. f.

[2]) Zuntz: Höhenklima und Bergwanderungen. 1906. S. 175 u. f. Lehmann und Pedersen: Das Wetter und unsere Arbeit. S. 161 u. f.

her, daß sich im Blute eine größere Hämoglobinmenge bildet, die aus der verdünnten Luft eine größere Menge Sauerstoff aufnehmen kann. Die Vermehrung des Hämoglobingehaltes ist also ein Adaptationsvorgang, der erst dann eintritt, wenn die Sauerstoffarmut der verdünnten Luft viel größer wird, als sie bei den normalen Luftdruckschwankungen vorkommt.

VI. Die Nerven und das Nervensystem.

Fünfzehntes Kapitel.

Der Bau der Nerven.

Das Nervensystem besteht aus Zellen, die mittels zahlreicher Fasern in leitender Verbindung miteinander stehen. Die Nervenzelle hat einen Zellkörper mit relativ großem Kern (die Ganglienzelle), und aus dem Zellkörper schießt eine große Anzahl faserförmiger, stark verzweigter Fortsätze hervor. Einige dieser Fortsätze können oft eine sehr bedeutende Länge erreichen, indem sie entfernte Teile des Organismus mit der Ganglienzelle in Verbindung setzen; solche Fortsätze werden gewöhnlich Nervenfasern genannt. Eine Ganglienzelle mit ihren sämtlichen Fortsätzen wird oft als *Neuron* bezeichnet; dieser Name schließt indes schon eine bestimmte theoretische Auffassung von der Bedeutung der Nervenzelle ein, wovon weiter unten die Rede sein wird.

Die Größe der Ganglienzellen variiert zwischen 0,005 und 0,1 mm liniärer Länge; die größten Zellen sind schon dem bloßen Auge sichtbar. Die Form der Zellen ist hauptsächlich durch die Zahl und die Ursprungsstelle der Fortsätze bestimmt. In dieser Beziehung gibt es eine große Mannigfaltigkeit der Arten; man unterscheidet je nach der Zahl der Fortsätze: *unipolare* (Fig. 30,*7*), *bipolare* (Fig. 30,*6*) und *multipolare* Zellen (Fig. 10); nach der Form: *Pyramidezellen* (Fig. 11), *Purkinjesche* Zellen (Fig. 12) usw. Die Figuren geben eine Vorstellung von diesem Reichtum der Arten. Die verschiedenen Formen kommen an verschiedenen Zellen des Nervensystems vor, so daß der Form unzweifelhaft eine funktionelle Bedeutung zugeschrieben werden darf.

Die Fortsätze der Nervenzellen zerfallen in zwei Gruppen. Die meisten verästeln sich fast gleich nach ihrem Ursprung und laufen bald in äußerst feine Zweige aus; diese werden

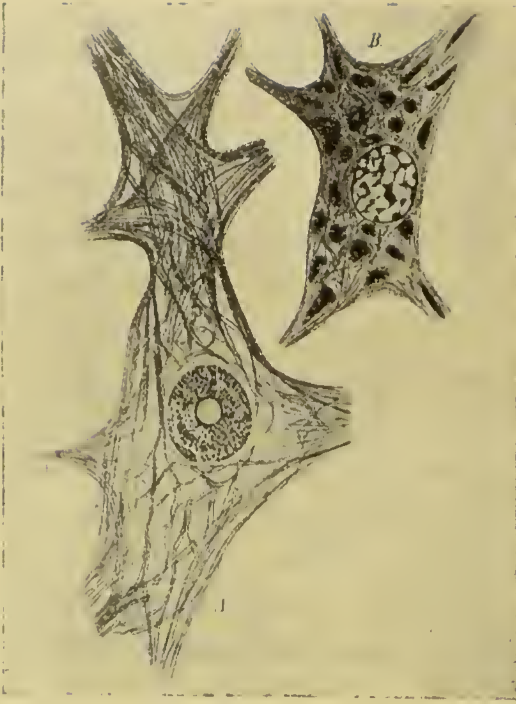


Fig. 10.
Ganglienzellen (nach Bethe).

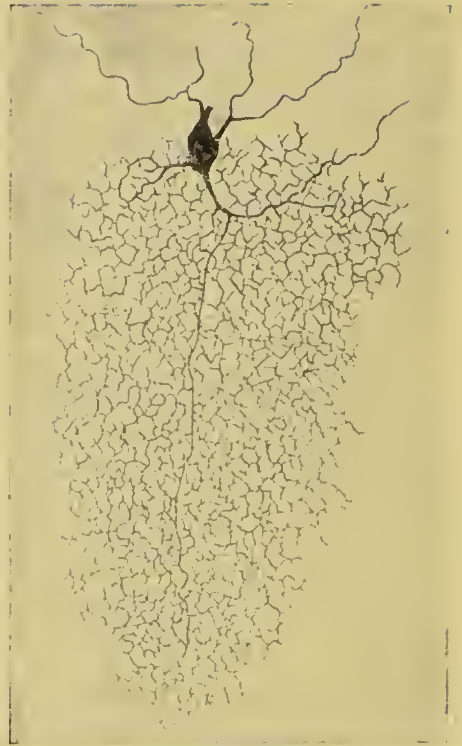


Fig. 12. Ganglienzelle mit Dendriten (nach von Gehuchten).

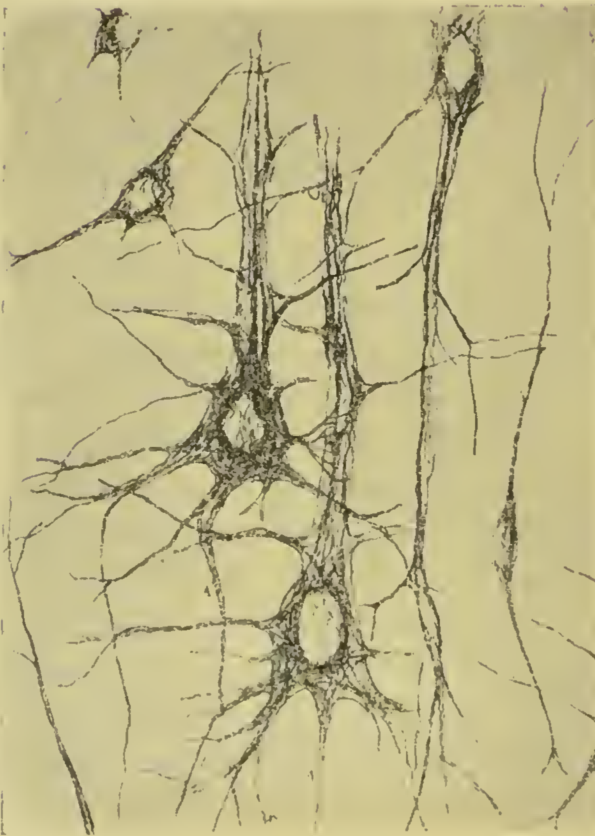


Fig. 11.
Riesenpyramidenzellen (nach Bielschowsky und Brodmann.)

Protoplasmafortsätze oder *Dendriten* genannt. Außer den Dendriten hat jede Zelle einen anderen Fortsatz, den *Achsenzylinderfortsatz* oder *Neurit*, der sich fast unverästelt weit hinstreckt; mehrere solche Neuriten verschiedener Zellen nebeneinander verlaufend bilden einen *Nerven*. Kurz nach seinem Ursprung am Zellkörper umkleidet sich der Achsenzylinder mit einer weißen, stark lichtbrechenden Substanz, der *Markscheide*. (Fig. 13, *M*), die dann wieder außerhalb der nervösen Zentralorgane von der *Primitivscheide* oder *Schwann'schen* Scheide, *S*,

umhüllt ist. Die Markscheide findet sich bei den meisten Nervenfasern der höheren Tiere, fehlt aber bei den wirbellosen; die markhaltigen Fasern sind weiß, die marklosen grau. Gegen das periphere Ende der Nervenfaser hin verschwindet gewöhnlich erst das Mark und darauf die Schwann'sche Scheide, so daß die Faser schließlich aus einem nackten Achsenzylinder besteht. Dieser löst sich dann in äußerst feine Zweige (Endbäumchen) auf, die sich in irgend einem Organe (Muskel, Drüsen, Sinnesorgan, Dendriten anderer Nervenzellen) verlieren.

Der Achsenzylinder (Fig. 13, *A*) ist durchaus kein homogenes Gebilde. Bei starker Vergrößerung sieht man, wie er von zahlreichen feinen *Fibrillen* durchsetzt ist, die ununterbrochen in der ganzen Länge der Faser verlaufen und von einer weicheren Substanz, der Perifibrillärsubstanz, umgeben sind [1]). Die Fibrillen sind vielleicht die eigentlichen leitenden Elemente der Nervenfaser. Jede Faser ist nämlich an zahlreichen Stellen eingeschnürt (die Ranvier'schen Schnürringe); hier fehlen sowohl die Markscheide als die Perifibrillärsubstanz, und nur die Fibrillen gehen hindurch. Dem Anschein nach befindet sich an den Schnürringen eine kleine durchlöcherte Platte, die die einzelnen Fibrillen auseinander hält. Bei Anwendung schrumpfend wirkender Mittel sieht man die Fibrillen überall zu einem dünnen Bündel zusammengezogen, nur nicht an den Schnürringen (Fig. 13). Nach den Untersuchungen Bethes ist die Oberfläche der Fibrillen mit einer Substanz, der Fibrillensäure, besetzt, die die Eigentümlichkeit hat, sich sehr leicht mit alkalischen Farbstoffen zu färben. Die Fibrillensäure verschwindet ganz oder teilweise an den Stellen, wo der lebendige Nerv erregt wird, um sich wieder in der Ruhe mehr oder weniger schnell zu regenerieren. Die Leitung der Erregung in der Nervenfaser geht also zweifellos mit stofflichen Veränderungen einher.

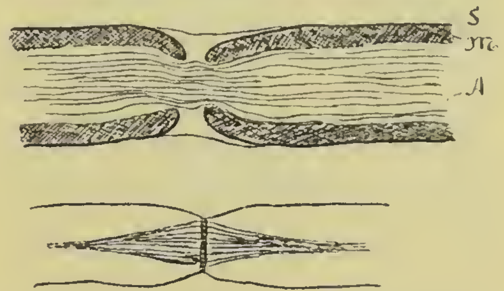


Fig. 13. Nervenfaser mit Fibrillen, im frischen und geschrumpften Zustande (nach Bethe).

Die Zellkörper zeigen einen sehr verwickelten Bau, der noch keineswegs vollständig aufgeklärt ist. Die Fibrillen des

---

[1]) Bethe: Allgemeine Anatomie und Physiologie des Nervensystems. Leipzig 1903. S. 47 ff.

Achsenzylinders dringen in den Zellkörper hinein, durchsetzen ihn und gehen wieder in die Dendriten hinaus. Andere Fibrillen verbinden die verschiedenen Dendriten miteinander, so daß im Zellkörper ein dichtes Geflecht der Neurofibrillen entsteht. (Vgl. Fig. 10 und 11). Übrigens finden sich die Fibrillen nicht nur im Innern der Zellen, sondern auch auf ihrer Oberfläche, wo sie die sogenannten Golginetze bilden, die mit den Fibrillen im Innern der Zelle in Verbindung stehen[1]). In der Fig. 14 sieht man oben die Fibrillen und in der Mitte das Goglinetz; bei *x*, *y* und *z* gehen Fibrillen in die Knotenpunkte des Netzes über. Schließlich sieht man in den freien Feldern zwischen den Fibrillenbündeln die sogenannten *Nisslschen Schollen* (Tigroidkörper, Chromatophoren, s. Fig. 10, *B*), die in Zellen, die eben tätig gewesen sind, ein anderes Aussehen haben als in ausgeruhten Zellen[2]).

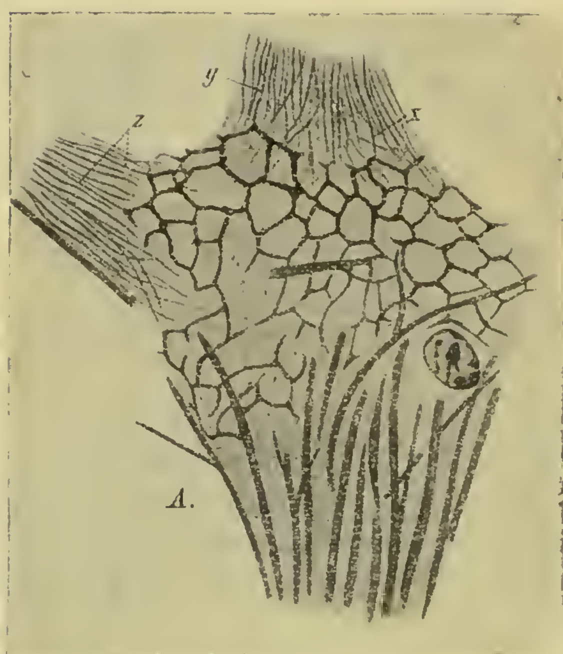


Fig. 14. Ganglienzelle (nach Bethe).

Nach der jetzt fast allgemeinen Auffassung sind die Nervenzellen als geschlossene Einheiten anzusehen, die sich zwar an zahlreichen Punkten berühren, aber keine gemeinsamen Elemente enthalten; jede Zelle ist mithin ein selbständiges Individuum, ein *Neuron*[3]). Dieser *Neuronentheorie* zufolge läßt sich eine Erregung wohl an den Berührungspunkten von einem Neuron an das andere durch Kontakt übertragen, sonst aber ist jedes Neuron von den übrigen unabhängig. Die Erregung, die der Ganglienzelle durch die Fortsätze zugeführt wird, löst im Zellkörper eine neue Bewegung aus, die dann ihrerseits durch andere Fortsätze den Nachbarneuronen mitgeteilt wird. Die Ganglienzelle ist

[1]) Bethe, a. a. O. S. 72.

[2]) Langendorff: Physiologie des Rücken- und Kopfmarkes. Nagels Handbuch, Bd. 4, S. 216.

[3]) Lenhossek: Der feinere Bau des Nervensystems. Berlin 1895. S. 102.

außerdem das trophische Zentrum des Neurons, d. h. von dem Zellkörper aus findet die Ernährung sämtlicher Fortsätze statt, was daraus ersichtlich ist, das jeder vom Zellkörper getrennte Fortsatz sehr bald stirbt. Andererseits ist auch der Zellkörper von seinen Fortsätzen abhängig, denn er atrophiiert früher oder später, wenn ihm keine Erregung zugeführt wird; das Neuron ist eben eine Einheit, deren verschiedenen Teile von einander abhängig sind.

Die *Fibrillenhypothese.* Sogleich nach der Entdeckung der Neurofibrillen (Apathy 1897) wurden sie als die eigentlichen, leitenden Elemente der Nerven aufgefaßt. Man glaubte, beobachten zu können, daß die Fibrillen nicht nur ununterbrochen in der einzelnen Nervenfaser verliefen, sondern auch am Berührungsorte der Fortsätze verschiedener Nervenzellen aus der einen Zelle in die andere überträten. Apathy, Bethe u. a. folgerten hieraus, daß die Zellkörper eigentlich keine Bedeutung hätten, nur Durchgangspunkte der Fibrillen wären. Nach dieser Auffassung kann in den Zellkörpern auch keine Auslösung, keine Energieumwandlung stattfinden; die Tätigkeit des Nervensystems reduziert sich zu einer Leitung der Erregung von einer Stelle zur anderen, und diese Leitung muß mit einem minimalen Stoffverbrauch ablaufen können. Von einer trophischen Wirksamkeit des Zellkörpers ist dann auch keine Rede; die Fibrillen müssen ohne Verbindung mit dem Zellkörper leben und funktionieren können. Als Stütze dieser Hypothese wies Bethe nach, daß bei einem Taschenkrebs Reflexbewegungen sich tatsächlich ohne Beteiligung der Ganglienzelle auslösen ließen[1]).

Spätere Untersuchungen nach verbesserten Methoden haben indes gezeigt, daß die der Fibrillenhypothese zugrunde liegenden Beobachtungen wahrscheinlich unrichtig sind. Außerhalb des Zellkörpers finden sich keine Verbindungen zwischen den Neurofibrillen, und ebenso wenig treten die Fibrillen einer Zelle in eine andere über[2]). Bethes Experiment mit dem Taschenkrebs ist anderen Forschern nicht gelungen, so daß die Möglichkeit eines Reflexes ohne Beteiligung des Zellkörpers geleugnet wird[3]). Außerdem steht die Fibrillenhypothese mit verschiedenen physiologischen Tatsachen in Widerstreit. Wir werden im folgenden sehen, daß die Neuronentheorie in der Hauptsache recht hat, nämlich daß im komplizierten Zellkörper anderes und mehr stattfindet als eine einfache Leitung. Erstens kann die Leitung nur in einer Richtung durch den Zellkörper hindurchgehen, zweitens findet im Zellkörper zumeist eine Verstärkung der Erregung statt, und schließlich geht diese Auslösungserscheinung mit einem nicht unerheblichen Stoffverbrauch

---

1) Bethe, a. a. O. S. 328.

2) Retzius: Minute structure of the nervous system. Proceedings of the Royal Society of London. B. Vol. 80, 1908. S. 433 u. f.

3) Retzius, a. a. O. S. 433.

einher, was sich jedenfalls bei gewissen psychischen Leistungen dartun läßt — alle diese Tatsachen sind mit der Fibrillenhypothese unvereinbar.

Sechzehntes Kapitel.

Die Funktionen der Nerven.

Die *Funktion der Nervenfasern* besteht, so viel wir wissen, ausschließlich in der Leitung der Erregungen. Einige Nerven, die *zentripetalen* oder *afferenten* Nerven, führen die an der Körperperipherie stattfindende Reizung dem Zentralorgane zu, andere dagegen, die *zentrifugalen* oder *efferenten* Nerven, leiten die in den Nervenzentren entstandene Erregung peripheren Organen (Muskeln, Drüsen usw.) zu. Eine notwendige Bedingung dieser Leitung ist, daß der Nerv seine physiologische Kontinuität besitzt. Eine Durchschneidung des Nerven hebt selbstverständlich seine Leitungsfähigkeit auf; durch einfache Kompression läßt sich aber dasselbe erreichen. Ist der Druck nicht zu stark, kann der Nerv sein Vermögen, die Leitung fortzupflanzen, nach dem Aufhören des Druckes wiedergewinnen. Eine analoge zeitweilige Aufhebung des Leitungsvermögens kann durch verschiedene Giftstoffe (Äther, Chloroform usw.) erzielt werden.

Die Erregung pflanzt sich nur in der gereizten Nervenfaser und ihren Verästlungen fort, geht aber nie von einer Faser auf eine andere, in demselben Nervenstamm verlaufende über (Gesetz der isolierten Leitung). Diese Tatsache läßt sich auch so ausdrücken: *die Reizung eines Nerven hat einen unveränderlichen Erfolg, indem die Erregung nur auf das Organ, das mit den betreffenden Nerven in Verbindung steht (das Erfolgsorgan) und nicht auf andere Organe einwirkt*[1]. Eine bedeutungsvolle Konsequenz dieses Satzes werden wir gleich im Nachstehenden kennen lernen.

In einer Nervenfaser pflanzt sich die Erregung in beiden Richtungen fort. Wird ein Nerv in der Mitte gereizt, so kann man sowohl am zentralen als am peripheren Ende des Nerven die elektrischen Erscheinungen, die *Aktionsströme*, beobachten, die immer die Fortpflanzung der Erregung begleiten, und dies gilt sowohl für die efferenten als für die afferenten Nerven. Ganz anders verhalten sich dagegen die Ganglien-

---

[1]) Tigerstedt: Lehrbuch der Physiologie. 1898. 2. Bd. S. 2.

zellen, die die Erregung nur in einer Richtung, nämlich von den zentripetalen nach den zentrifugalen Nerven, nie aber umgekehrt fortpflanzen.

Auf verschiedene Weise läßt sich dies nachweisen. Wie wir später sehen werden, kann man durch Reizung eines sensorischen (afferenten) Rückenmarksnerven leicht Muskelzuckungen in den Extremitäten hervorrufen, indem die Erregung auf die motorischen (efferenten) Nerven übertragen wird. Im motorischen Nerven entsteht dann, wie schon erwähnt, ein Aktionsstrom, der ebenso wohl wie die Muskelzuckung die Fortpflanzung der Erregung durch die Ganglienzelle dartut. Beiläufig sei bemerkt, daß dieser Aktionsstrom stärker ist als derjenige, den man erhalten würde, wenn man den motorischen Nerven direkt erregt hätte. Diese Tatsache beweist augenscheinlich, daß in der Ganglienzelle eine Verstärkung der Erregung stattfindet, oder mit andern Worten, daß die Erregung des afferenten Nerven eine Auslösung bewirkt, so daß der Zellkörper keineswegs ein einfacher Durchgangspunkt der Erregung ist[1]). Während man also leicht von einem sensorischen Nerven aus einen Aktionsstrom im motorischen Nerven hervorrufen kann, ist es nie gelungen, durch Reizung eines motorischen Nerven im sensorischen einen Strom nachzuweisen[2]).

Die Unerregbarkeit einer Ganglienzelle vom zentrifugalen, motorischen Nerven aus läßt sich noch auf folgende Weise dartun. Wird ein mit seiner Ganglienzelle in Verbindung stehender motorischer Nerv gereizt, so entsteht eine von dem Ort und der Stärke der Reizung abhängige Muskelzuckung bestimmter Form und Größe. Bei gleicher Reizung erhält man aber genau dieselbe Muskelzuckung, wenn die Verbindung zwischen dem Nerven und der Ganglienzelle in der Nähe der letzteren unterbrochen wird. Dies würde nicht der Fall sein können, wenn die Ganglienzelle vom motorischen Nerven aus erregbar wäre; dann müßte nämlich diese Erregung bei bestehender Verbindung zwischen dem Zellkörper und der Nervenfaser eine Verlängerung oder Erhöhung der Muskelzuckung herbeiführen. Bethe sieht in diesem Versuche einen Beweis dafür, daß im Zellkörper keine Auslösung, sondern nur eine Leitung stattfindet[3]); das Experiment beweist augenscheinlich nur, was man im voraus wüßte: daß die Ganglienzelle von einem efferenten Nerven aus unerregbar ist.

Obwohl also die Nervenfasern in beiden Richtungen leiten können, hat die fortgepflanzte Erregung nur in dem Organe einen Erfolg, das im lebendigen Organismus durch den Nerven beeinflußt wird. Durch die Reizung eines zentripetalen Nerven wird nur die Ganglienzelle, durch die Reizung eines zentrifu-

---

[1]) Steinach: Pflügers Archiv Bd. 78, 1899. S. 298.

[2]) Langendorff, Nagels Handbuch, 4 Bd. S. 286.

[3]) Zur Theorie der Zentrenfunktion. Ergebnisse der Physiologie. 5. Jahrg. 1906. S. 275 u. f.

galen Nerven nur der Muskel (Drüse usw.), nicht aber der Zellkörper erregt. Diese bedeutungsvolle Tatsache läßt sich augenscheinlich dem obigen Satze vom unveränderlichen Erfolg der Nervenreizung subsumieren.

Die *Fortpflanzungsgeschwindigkeit* der Erregung hat in allen Nerven bei weitem nicht dieselbe Größe. Im marklosen Geruchsnerven (Olfactorius) des Hechtes ist sie nur 15 cm pro Sekunde, in den Cephalopodennerven 1—3 m, in markhaltigen Froschnerven 30 m pro Sekunde [1]. In motorischen Nerven des lebenden Menschen fand Baxt fast dieselbe Größe, im Mittel 30,1 m pro Sekunde; die Geschwindigkeit erwies sich aber von der Temperatur abhängig, indem sie mit wachsender Temperatur stieg [2]. Neuere Untersuchungen haben indes eine bedeutend größere Geschwindigkeit der Leitung in den motorischen Nerven des Menschen ergeben, nämlich 50—66 m pro Sekunde [3]. Welcher von diesen Werten der richtige ist, läßt sich vorläufig kaum entscheiden; die Annahme, daß sich die Geschwindigkeit beim Menschen in 30 Jahren fast verdoppelt habe, scheint nicht sehr wahrscheinlich. In den sensorischen Nerven des lebenden Menschen fand Kiesow 30—33 m [4], was jedenfalls gut mit den älteren Messungen am motorischen Nerven übereinstimmt.

Die angeführten Zahlen gelten nur für die Leitung in den Nervenfasern; sobald sich die Erregung durch Ganglienzellen fortpflanzt, wird die Geschwindigkeit bedeutend geringer. So fand Wundt, daß die Leitung von den hinteren zu den vorderen Wurzeln des Rückenmarks eines Frosches 0,008 bis 0,015 Sekunde in Anspruch nahm, was in Betracht der kurzen Strecke eine sehr geringe Geschwindigkeit ergibt. Wo eine Erregung durch größere Reihen von Nervenzellen hindurchgehen muß, kann daher eine recht erhebliche Zeit verstreichen; die vorliegenden Angaben differieren indes so beträchtlich, daß sich keine bestimmten Zahlen angeben lassen [5].

---

[1] Biedermann: Elektrophysiologie. Ergebnisse d. Physiologie. 2. Jahrg. 2. Abt. 1903. S. 147.

[2] Berichte der Akademie der Wissenschaften zu Berlin. 1867. S. 228 u. f. 1870. S. 184.

[3] Gowers: The Rate of Nerve Impulses. Nature, Bd. 69. 1903. S. 105. Waller: The Velocity of a Nervous Impulse. Nature, Bd. 69. S. 151.

[4] Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit im sensiblen Nerven. Zeitschrift für Psychologie Bd. 33. S. 444.

[5] Langendorff. Nagels Handbuch. 4 Bd. S. 263.

Als *Reize* können sehr verschiedenartige physikalische Einwirkungen: Druck und Stoß, Erwärmung und Abkühlung, konstante elektrische Ströme, Wechselströme und chemisch wirksame Stoffe dienen. Diese Reize können alle sowohl in den Terminalorganen als in jedem beliebigen Punkt des Nervenstammes eine Erregung hervorrufen; im unverselirten Organismus wirken die Reize aber gewöhnlich nicht auf die Nervenstämme, sondern nur auf die für die Reizung besonders empfänglichen Endapparate der Nervenleitungen ein. Unter diesen Umständen werden die Reize wahrscheinlich auch auf wenige Arten beschränkt, indem die meisten derselben nicht direkt auf die Nervenfasern Einfluß ausüben, sondern in den Sinnesorganen erst umgeformt werden. Druck, Stoß und Reibung wirken wohl direkt auf die Nervenfasern in der Haut, im Ohre und in den Gelenken; alle anderen Reize dagegen rufen vielleicht erst chemische Veränderungen hervor, die dann ihrerseits die eigentlichen Reize der Nervenfasern sind. Die zahlreichen von dem Nervensysteme ausgehenden Erregungen entstehen teils dadurch, daß der Erregungszustand einiger Zellen sich zu anderen fortpflanzt, teils dadurch, daß das Blut wegen der Tätigkeit bestimmmter Organe (z. B. die der Muskeln, vgl. S. 77 und 78) Veränderungen unterliegt, die die Nervenzellen reizen.

So wie alle anderen lebenden Zellen erfordern auch die Nerven, daß die Reizstärke ein bestimmtes Minimum, die *Reizschwelle*, überschreitet (vgl. S. 80), damit eine Tätigkeit überhaupt ausgelöst werden kann. Die Größe der Reizschwelle ist übrigens von der Geschwindigkeit abhängig, mit welcher der Reiz einsetzt; ein plötzlich eintretender schwacher Druck z. B. kann eine Erregung hervorrufen, während ein langsam anwachsender Druck bei viel größerer Stärke noch keine Reizung bewirkt. Unter sonst gleichen Umständen wächst die Erregung mit der Stärke des Reizes; außerdem ist sie aber zumeist von der Dauer und der räumlichen Ausdehnung des Reizes abhängig. Mit den diesbezüglichen für die Sinnesreize geltenden Gesetzen werden wir uns im folgenden Buche näher beschäftigen.

Ein Reiz, dessen Stärke unterhalb der Reizschwelle liegt, kann eine Erregung verursachen, wenn er sich genügend schnell und häufig wiederholt; ebenfalls haben stärkere Reize fast immer eine größere Wirkung, wenn sie sich periodisch wiederholen, als bei einmaliger Einwirkung. Es findet also

eine *Summation der Erregungen* statt. Dies ist jedoch keineswegs eine Eigentümlichkeit der Nerven, ja nicht einmal eine Besonderheit der lebendigen Zelle. Die Wirkungen einer periodisch einsetzenden Kraft werden immer summiert, wenn die Wiederholungen nur so schnell aufeinander folgen, daß das Resultat einer vorhergehenden Einwirkung nicht verschwunden ist, wenn die folgende eintritt. So läßt sich eine schwere Masse durch kleine taktfeste Stöße in Bewegung setzen, und ein dickes Glas erwärmt man am sichersten, um das Zerspringen zu verhüten, durch eine periodische Zufuhr von kleinen Wärmemengen. Die Summation der Nervenerregungen zeigt also nur, daß die Erregung den Reiz um eine gewisse Zeit überdauert.

Über die *Natur der Nervenerregung*, der im tätigen Nerven stattfindenden Vorgänge, wissen wir nicht viel. Es wurde schon oben (S. 95) erwähnt, daß man ein Verschwinden der Fibrillensäure am Reizungsorte beobachtet hat, so daß zweifelsohne stoffliche Veränderungen während der Erregung stattfinden; etwas Näheres über diese Vorgänge ist vorläufig nicht bekannt. Viel besser sind wir über die leicht zu beobachtenden *elektrischen Begleiterscheinungen* unterrichtet. Ein unversehrter Nerv ist immer unelektrisch, stromlos; durch eine Reizung wird *der Reizungsort negativ elektrisch im Verhältnis zum ruhenden, unerregten Teil der Nervenfaser.* Je nach der Dauer und Art der Reizung kann diese Tatsache auf verschiedene Weise hervortreten.

Bei kurzdauernder Einwirkung eines beliebigen Reizes pflanzt sich eine Negativitätswelle, der *Aktionsstrom*, vom Reizungsorte über die ganze Nervenfaser mit derselben Geschwindigkeit fort wie die Erregung. Wird der Nerv (*N*, Fig. 15 A) bei *R* gereizt, während die Oberfläche an zwei einander nahe liegenden Punkten *a* und *b* mit einem Galvanometer verbunden ist, so gibt die Ablenkung der Nadel einen Strom von *b* durch den Galvanometer nach *a* an; *a* ist also im Verhältnis zu *b* negativ elektrisch. Mittels einer komplizierten Vorrichtung, auf die wir hier nicht näher eingehen können, läßt sich der ganze Verlauf dieser Welle bestimmen. Setzt man die Zeit als Abszisse, die sukzessiven Potentialgefälle im Punkte *a* als negative Ordinaten ab, erhält man die in Fig. 15 B gezeichnete Kurve. Liegen die abgeleiteten Punkte *a* und *b* etwas weiter voneinander, oder werden die Versuche mit Nerven geringerer Fortpflanzungsgeschwindigkeit

angestellt, so erhält man mittels des Kapillarelektrometers einen zweiphasischen Aktionsstrom. Nach der negativen Ablenkung tritt eine positive ein, wie es die stark aufgezogene Kurve Fig. 15 C zeigt, wo die Zeit wiederum als Abszisse, die Potentialdifferenz zwischen *a* und *b* als Ordinate abgesetzt sind. Das Zustandekommen der positiven Ablenkung ist leicht verständlich. Kurz nach der Reizung bei *R* fängt in *a* die Negativität an, die durch die Kurve *amn* dargestellt wird. Wenn aber etwas später die Negativitätswelle an *b* gelangt, wo sie nach der Kurve *bm'n'* verläuft, so wird die Spannungsdifferenz zwischen *a* und *b* kleiner, und sie wird im Zeitpunkte *o* gleich Null, weil die Potentialgefälle in *a* und *b* in

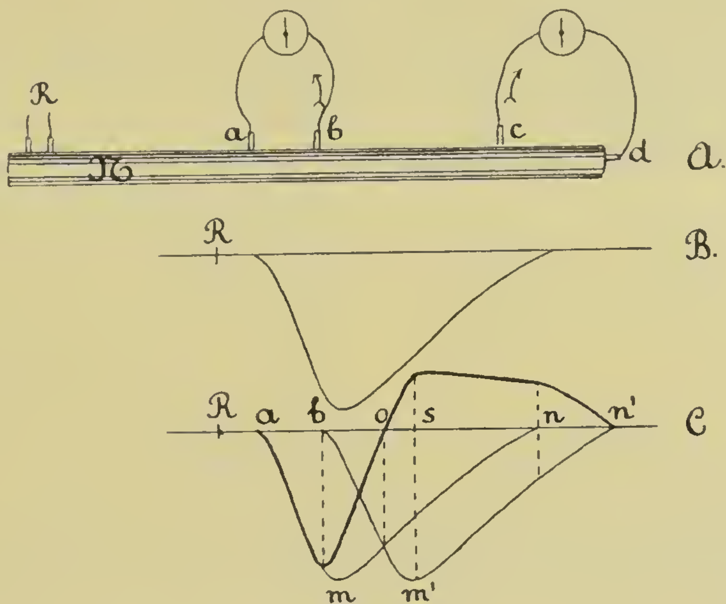


Fig. 15.

diesem Augenblick gleich groß sind. Die Negativität wächst ferner in *b*, nimmt aber in *a* ab; *a* ist mithin positiv im Verhältnis zu *b*, d. h., der Strom geht jetzt von *a* nach *b*. Die Spannungsdifferenz zwischen den beiden Punkten ist einfach die Differenz zwischen den Ordinaten der Kurven *amn* und *bm'n'*; wo diese Differenzen negativ werden, sind sie als positive Ordinaten abzusetzen. Der schließliche Verlauf des Aktionsstromes wird daher durch den oberhalb der Abszissenachse liegenden Teil der Kurve dargestellt.

Bei schnell aufeinander folgenden Momentanreizen läuft eine ganze Reihe Negativitätswellen durch den Nerv. Mehr als etwa 800 solche Schwankungen pro Sekunde kann der Nerv nicht leisten; bei höherer Reizungszahl entsteht eine konstante

Negativität ungefähr wie bei konstanter, dauernder Reizung[1]). Der im letzteren Falle zu beobachtende Aktionsstrom kann einen recht komplizierten Verlauf nehmen (Fig. 16). Vor der negativen Schwankung kommt oft ein positiver Vorschlag, dann die negative Schwankung, die wieder abnimmt, um in eine dauernde Negativität überzugehen. Bei der Unterbrechung der Reizung (*U* der Fig. 16) tritt wieder eine vorübergehende negative Schwankung ein, und darauf geht die Negativität allmählich in die positive Phase über.

Jede Beschädigung eines Nerven ist als ein Reiz anzusehen. Ein Schnitt durch den Nerv wirkt daher als dauernder Reiz, und der Querschnitt ist mithin negativ elektrisch im Verhältnis zu jedem Punkte der unbeschädigten Oberfläche. Der Spannungsunterschied (Potenzialdifferenz) zeigt sich um so größer, je weiter ein solcher Punkt der Oberfläche vom Querschnitte entfernt ist, und der zwischen diese beiden Punkte, *c* und *d* der Fig. 15 A, eingeschaltete Galvanometer gibt einen konstanten Strom (*Ruhestrom*, Demarkationsstrom) an. Eine Reizung des Nerven außerhalb der abgeleiteten Strecke hat dann zur Folge, daß der Aktionsstrom den Ruhestrom abschwächt; der Aktionsstrom tritt als negative Schwankung des Ruhestromes auf.

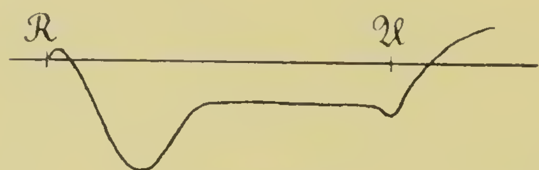


Fig. 16.

Eigentümliche und recht verwickelte Verhältnisse sind zu beobachten, wenn der Nerv mittels eines konstanten elektrischen Stromes gereizt wird. Ist der Nerv außerhalb der gereizten Strecke zum Galvanometer abgeleitet, gibt der letztere erst einen Strom an, der dieselbe Richtung wie der Reizungsstrom hat. Dieser Umstand zeigt, daß es sich hier nur um Stromschleifen handelt, die in den Galvanometer hineingelangen. Außerdem wirkt aber der konstante Strom als Reiz im gewöhnlichen Sinne, so daß die hierdurch verursachte Ablenkung des Galvanometers sich auf die Wirkung der Stromschleifen superponiert. Schließlich bildet sich in der Umgebung der negativen Elektrode (Kathode) ein Zustand gesteigerter, an der positiven Elektrode (Anode) ein Zustand herabgesetzter Erregbarkeit, der sogenannte *Elektrotonus*. Diese Erregbarkeitsveränderungen sind wohl zunächst als Summations-

[1]) Biedermann, a. a. O. S. 223 u. f.

erscheinungen anzusehen. Während der Anelektrotonus der durch eine Reizung hervorgerufenen Negativität entgegenwirkt, wird dieselbe durch die Katelektrotonus gefördert.

Wie die verschiedenen Giftstoffe die Nerventätigkeit beeinflussen, soll hier nicht erörtert werden; nur die Wirkung eines Giftes, die der Kohlensäure, können wir nicht unberücksichtigt lassen. Es hat sich herausgestellt, daß die Erregung, durch die negative Schwankung gemessen, an Stärke zunimmt, wenn der Nerv mittels sehr kleiner Mengen von Kohlensäure vergiftet wird, und wieder etwas abnimmt, wenn der Nerv in einem kohlensäurefreien Luftstrom gelüftet wird[1]). Ganz dieselbe Steigerung der Erregung tritt indes bei fortgesetzter Tätigkeit des Nerven ein, und sie schwindet wieder durch Lüftung desselben. Es läßt sich hieraus schließen, *daß sich bei der Fortpflanzung der Erregung im Nerven Kohlensäure bildet,* so daß die einfache Leitung in der Nervenfaser nicht ohne Stoffverbrauch stattfinden kann. Es ist daher nicht unwahrscheinlich, daß die gesteigerte Erregbarkeit, reizbare Schwäche, die sich z. B. als Folge einer langdauernden geistigen Tätigkeit einstellen kann, hauptsächlich eine Autointoxikation durch Kohlensäure sei. Frische Luft setzt jedenfalls immer die Erregbarkeit herab.

Auf die eben dargestellten, histologischen und physiologischen Tatsachen läßt sich eine nicht unwahrscheinliche Hypothese über die Natur der Nerventätigkeit aufstellen. In einem flüssigen Leiter, einem Elektrolyten, können elektrische Erscheinungen nur durch Konzentrationsunterschiede entstehen[2]), und zwar wird dann immer die weniger konzentrierte Lösung im Verhältnis zur mehr konzentrierten negativ elektrisch. Indem der Reiz aber auf die Biogene der Nervenfaser zersetzend wirkt, kommen eben dadurch Konzentrationsunterschiede zustande; am Reizungsorte wird die betreffende Substanz weniger konzentriert und mithin negativ elektrisch im Verhältnis zum unerregten Teil des Nerven. Da die Nervenfaser ferner Gebilde verschiedener Leitungsfähigkeit enthält, kommt ein lokaler elektrischer Strom zustande, der die Wirkung hat, daß der stromerzeugende Konzentrationsunterschied des Elektrolyten wieder abnimmt. Ob die Fibrillen hierbei als

---

[1]) Biedermann, a. a. O. S. 213 u. f.

[2]) Nernst: Zur Theorie der elektrischen Reizung. Nachrichten v. d. Gesellschaft der Wissenschaften in Göttingen. 1899.

Leiter, die Fibrillensäure als Elektrolyt funktioniert, oder ob andere Teile diese Funktion ausüben, läßt sich zur Zeit nicht entscheiden; es ist aber auch für die Theorie belanglos.

Es seien in Fig. 17 *L* der Leiter, *E* der Elektrolyt und *a* der Reizungsort. Zwischen *a* und dem benachbarten Punkte *b* besteht dann eine vom Konzentrationsunterschied abhängige Potentialdifferenz, wodurch der elektrische Strom die durch die Pfeile angegebene Richtung erhält. Dieser Strom bewirkt, daß die Konzentration bei *a* zunimmt, bei *b* dagegen sinkt, wodurch eine Potentialdifferenz zwischen *b* und *c* entsteht. Hierdurch sinkt wiederum die Konzentration bei *c*, und auf diese Weise pflanzt sich die Erregung durch die ganze Faser fort. Fängt die Konzentration eben an bei *n* zu sinken, indem *a* in den Ruhezustand zurückkehrt, so liegt die ganze Welle mithin zwischen *b* und *n* [1].

Als Stütze dieser sogenannten Kernleitertheorie dient ganz besonders der Umstand, daß man tatsächlich an einem Modell, das aus einem Elektrolyten und einem festen Leiter besteht, die Fortpflanzung der Erregung und die elektrischen Erscheinungen des tätigen Nerven beobachten kann. Am einfachsten läßt sich ein solches Modell auf folgende Weise herstellen. Ein mit konzentrierter Zinksulfatlösung getränkter, baumwollener Docht wird auf einen horizontalen Zinkstreifen gelegt, der am einen Ende so gebogen ist, daß man ihn in ein Glas Wasser hinuntertauchen kann. Dadurch wird die Zinksulfatlösung an diesem Ende weniger konzentriert, und es treten nun eben die Konzentrationsveränderungen und elektrischen Erscheinungen auf, die in Fig. 17 dargestellt sind. An einem Multiplikator mit großem Widerstande, der mittels Zinkelektroden mit dem Elektrolyten in Verbindung gebracht wird, läßt sich der ganze Verlauf des Aktionsstromes beobachten, so wie er sich bei dauernder Reizung eines Nerven zeigt. Auf die Einzelheiten können wir hier nicht eingehen; hinsichtlich derselben verweise ich auf meine Abhandlung über die Natur der Nerventätigkeit.

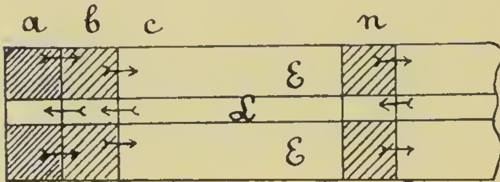


Fig. 17.

Die Nerventätigkeit ist indes eine Lebensäußerung, und es steht daher zu erwarten, daß unsere Nachahmung derselben in irgend einem Punkte hinter der Natur zurückbleibt. In gewissen Beziehungen finden wir denn auch wesentliche Unterschiede zwischen dem „künstlichen“ und dem wirklichen Nerven. Daß die Fortpflanzungs-

[1]) Lehmann: Über die Natur der Nerventätigkeit. Pflügers Archiv, Bd. 97, 1903. Bethe: Anatomie und Physiologie des Nervensystems, S. 301 u. f. Biedermann, a. a. O. S. 154 u. f. Cremer: Physiologie des Nerven- und Muskelsystems, Nagels Handbuch, Bd. 4, S. 950.

geschwindigkeit der Erregung im ersteren viel geringer als im letzteren ist, darauf kann kein großes Gewicht gelegt werden. Wenn die Geschwindigkeit im marklosen Olfactorius des Hechtes etwa zweihundertmal geringer ist als im Ischiadicus des Frosches, so ist also die Geschwindigkeit eine vom Bau der Nerven und von der Konstitution der Biogene abhängige Größe, und es ist mithin belanglos, daß das schwer zersetzbare Zinksulfat eine einhundertmal geringere Geschwindigkeit aufweist als die des Olfactorius.

Von größerer Bedeutung ist der Umstand, daß die Negativitätswelle des künstlichen Nerven keine wirkliche Welle, sondern nur eine „Pseudowelle" ist [1]). Der Erfolg einer Reizung des künstlichen Nerven kann höchstens der sein, daß der Elektrolyt überall dieselbe verminderte Konzentration erhält; zum ursprünglichen Zustand kann er nicht zurückkehren. Von der Negativitätswelle kommt also nur der absteigende Ast, *am* oder *bm'* (Fig. 15 C) zustande, und der Galvanometer gibt mithin nur die entsprechende Interferenzkurve an. Die Rückkehr zum Ruhezustande nach der Reizung, dem Aste *mn* oder *m'n'* entsprechend, ist wahrscheinlich eine von dem Stoffwechsel verursachte Lebensäußerung, die wir nicht nachahmen können. Es ist mir zwar gelungen, auch beim künstlichen Nerven einen zweiphasischen Aktionsstrom zu erhalten; die erste Phase muß aber hier als ein positiver Vorschlag aufgefaßt werden, die dadurch zustande kommt, daß die Reizungsflüssigkeit etwas Sauerstoff enthält [2]). Tatsächlich zeigt der künstliche Nerv in jedem Punkt nur die Abnahme der Konzentration, die „Dissimilation"; von einer „Assimilation" kann keine Rede sein. Der Nachweis des Erregungsvorgangs verliert ja aber dadurch nicht seine Bedeutung, daß wir mittels desselben Apparates gleichzeitig die Wiederherstellung der Biogene nicht nachahmen können.

Die durchgängige Übereinstimmung zwischen den elektrischen Verhältnissen des wirklichen und des künstlichen Nerven zeigt, daß die Theorie zweifellos in der Hauptsache das Richtige trifft. Handelt es sich aber in der Tat bei der Fortpflanzung der Nervenerregung um Konzentrationsveränderungen, so läßt sich die Stärke der Erregung als Funktion der Reizstärke bestimmen. Als Maß der Erregung können wir die Potentialdifferenz zwischen dem Reizungsort und dem ruhenden Teil des Nerven nehmen; von dieser Größe ist die Stärke des Aktionsstromes und schließlich auch die Veränderung im Erfolgsorgan abhängig. Nun wissen wir ferner, daß die elektromotorische Kraft einer Konzentrationskette dem $\log \cdot \frac{C}{C_R}$ proportional ist, wo C und C_R die verschiedenen

---

[1]) Cremer, Nagels Handbuch, Bd. 4, S. 906 u. f.

[2]) Lehmann, a. a. O. S. 168.

Konzentrationen der Flüssigkeit bedeuten. Es seien also C die Konzentration der wirksamen Stoffe im ruhenden Nerven, C_R die durch den Reiz R verminderte Konzentration derselben am Reizungsort, so ist die Größe der Erregung E:

$$E = c \cdot log \cdot \frac{C}{C_R} \text{ . . . . (Gl. 20).}$$

Es handelt sich nur noch darum, C_R als Funktion von C und R auszudrücken.

Da die Größe C die Konzentration, d. h. die Stoffmenge pro Raumeinheit, in der ungereizten Nervenfaser bezeichnet, findet sich mithin in N Raumeinheiten die Stoffmenge $K = C \cdot N$. Die vom Reize R während der Zeit T dekomponierte und nicht ersetzte Stoffmenge ist durch die Gleichung 18 gegeben. Der Einfachheit halber können wir T hier so kurz nehmen, daß Gleich. 19 als gültig angesehen werden kann. Dann ist $U = qKRT = qCNRT$. Die Differenz zwischen der ursprünglich vorhandenen und der nach der Zeit T zersetzten und nicht wieder aufgebauten Stoffmenge: $CN - qCNRT$ gibt also die übriggebliebene, unzersetzte Stoffmenge an, die in N Raumeinheiten vorhanden sind. Folglich ist die Konzentration C_R:

$$C_R = \frac{CN - qCNRT}{N}$$

Es wird dann ferner:

$$\frac{C}{C_R} = \frac{CN}{CN - qCNRT} = \frac{1}{1 - qRT} = 1 + qRT + (qRT)^2 + (qRT)^3 \text{ . .}$$

Daß diese Formel, wie vorausgesetzt, nur für kleine Werte des T gültig sein kann, geht daraus hervor, daß $\frac{C}{C_R} = \infty$, wenn $qRT = 1$ wird. Solange aber $qRT < 1$ ist, können die höheren Potenzen von qRT vernachlässigt werden, und wir erhalten dann:

$$E = c \, log \frac{C}{C_R} = c \, log \cdot (1 + qRT) \text{ . . . . (Gl. 21).}$$

Wenn T so groß wird, daß Gleich. 19 nicht mehr gültig ist, kann sich Gleich. 21 auch nicht als gültig erweisen. Wir müssen dann den Berechnungen den komplizierteren Ausdruck des U_T (Gleich. 18) zugrunde legen; gleichzeitig spielen aber zumeist die oben (S. 85 und 87) erwähnten unberechenbaren Faktoren mit hinein, so daß eine vollständige Lösung des Problems zur Zeit kaum möglich ist. Für große Werte

des T, wo U_T konstant, von T unabhängig wird, findet man indes erfahrungsgemäß annähernd:

$$E = C \cdot log\left(1 + \frac{R}{\varkappa}\right) \text{ . . . . (Gl. 22),}$$

wo $\varkappa$ eine von der gewählten Maßeinheit abhängige Konstante ist.

Dieses für die Psychophysiologie sehr bedeutungsvolle Gesetz ist zuerst von E. H. Weber und Fechner aus Messungen über das Unterscheiden von Empfindungen abgeleitet[1]). Daß Fechner übrigens, durch philosophische Spekulationen irregeführt, zu einer völlig falschen Deutung des Gesetzes kam, kann weder die Gültigkeit desselben noch seinen Ruhm schmälern. Wie die Unterscheidung von Empfindungen den Gleichungen 21 und 22 unterliegen kann, davon wird später (Kap. 66) die Rede sein; vorläufig beschäftigt uns die Gleichung nur als Gesetz der Nervenerregung.

Es ist mehrmals die den verschiedenen Reizstärken entsprechende Stärke des Aktionsstromes gemessen worden. So bestimmte Steinach diese Größe im Ischiadicus des Frosches, indem er dessen Fuß mit verschiedenen Gewichten belastete. Daß die unter diesen Umständen erhaltenen Werte der Nervenerregung mit Gleich. 22 übereinstimmen, habe ich schon früher nachgewiesen[2]). Auch die neuesten Untersuchungen von de Haas über die Aktionsströme, die im Nervus opticus des Frosches bei Reizung der Netzhaut mit Licht auftreten, bestätigen die theoretischen Erwartungen. Die Messsungen sind sowohl mit Momentreizen als mit dauernder Belichtung ausgeführt und stimmen in allem wesentlichen je mit den Gleichungen 21 und 22 überein.

In Tab. 7 sind die Resultate zweier der erwähnten Versuchsreihen angeführt[3]). R gibt die Lichtstärke, E die in Millivolt gemessene Erregung an. Bei den mit Momentreizen ausgeführten Untersuchungen sind außerdem die Reizdauer T in tausendstel Sekunden (σ) und das Produkt RT angegeben. Für diese Messungen findet man die Formel: $E = 1{,}277 \cdot log\left(1 + \frac{RT}{13{,}5}\right)$, nach welcher die berechneten Werte „$E \cdot ber.$" bestimmt sind. Die Abweichungen F

---

[1]) Fechner: Elemente der Psychophysik. Leipzig 1860. Bd. 1, S. 136 u. f. und Bd. 2, S. 9 u. f.

[2]) Lehmann: Elemente der Psychodynamik. S. 22 u. f.

[3]) De Haas: Lichtprikkels en retinastromen in hun quantitativ verband. Leiden 1903.

Tab. 7.

Kurzdauernde Belichtungen. de Haas. Tab. XXII.

T	2	2	2	2	2	2	10	60	360	. 1970
R	1,13	5,73	13,85	88,3	573	3411	3411	3411	3411	3411
R.T.	2,26	11,46	27,7	176,6	1146	6822	34110	204660	1228000	6720000
E	0,010	0,035	0,049	0,110	0,198	0,286	0,470	0.717	1.099	1,460
E . ber.	0,009	0,034	0,062	0,147	0,247	0,345	0,434	0,533	0,633	0,728
F	+ 0,001	+ 0,001	— 0,013	— 0,037	— 0,049	— 0,059	+ 0,036	+ 0,184	+ 0,466	+ 0,732

Langdauernde Belichtungen. de Haas. Tab. XXIV.

R	1,13	3,14	5,73	9,1	31,2	38,5	88,25	340	1058	3411
E	0,031	0,089	0,137	0,189	0,432	0,395	0,798	1,390	2,034	2,793
E . ber.	0,025	0,066	0,115	0,173	0,450	0,517	0,836	1,477	2,124	2,705
F	+ 0,003	+ 0,023	+ 0,022	+ 0,016	— 0,018	— 0,122	— 0,038	— 0,087	— 0,090	+ 0,088

zwischen Messung und Berechnung zeigen, daß die Formel jedenfalls bis $T = 10\,\sigma$ sehr gut stimmt, für größere Werte des T, wie zu erwarten stand, dagegen gar nicht. Die Messungen mit dauernder Belichtung wurden sowohl bei aufsteigender als bei abnehmender Reizstärke ausgeführt; da in den beiden Fällen wenig abweichende Werte erhalten wurden, habe ich die beiden Reihen zu einer einzelnen vereinigt, indem aus den Werten E, die derselben Reizstärke entsprechen, Mittelwerte berechnet sind. Die Beziehung der so erhaltenen Größen E zur Reizstärke R läßt sich durch die Gleichung: $E = 1{,}26 \cdot \log\left(1 + \frac{R}{24{,}45}\right)$ ausdrücken. Die hieraus berechneten Werte E sind in der Reihe „$E \cdot ber.$" angeführt, und schließlich kommen wieder in der Reihe F die Differenzen zwischen den gemessenen und den berechneten Werten vor.

Der besseren Übersicht wegen sind die Messungen in Fig. 18 graphisch dargestellt. Als Abszisse sind hier log. R, resp. log. RT, als Ordinate die entsprechenden Werte E abgesetzt; die vollgezeichneten Kurven verbinden die berechneten, die punktierten Linien die gemessenen Werte. Die Kurve *I*, deren Ordinatenwerte rechts angegeben sind, stellt die Messungen mit kurzdauernder, die Kurve *II* diejenigen mit langdauernder Belichtung dar. Da eine größere Abweichung zwischen Messung und Berechnung nur oberhalb $RT = 65\,536$ vorkommt, wo sie, wie S. 108 nachgewiesen, zu erwarten war, so beweisen diese Untersuchungen jedenfalls, daß *die Stärke der Nervenerregung im logarithmischen Verhältnis zur Reizstärke wächst.*

Siebzehntes Kapitel.

Der Bau des Nervensystems.

Es kann hier keine Rede davon sein, eine eingehende Darstellung von dem sehr verwickelten Bau des menschlichen

Nervensystems zu geben; eine solche muß in den anatomischen Spezialwerken gesucht werden. Wir haben hier um so weniger Anlaß, auf diesbezügliche Einzelheiten einzugehen, als es bis jetzt kaum gelungen ist, eine Beziehung zwischen normal-

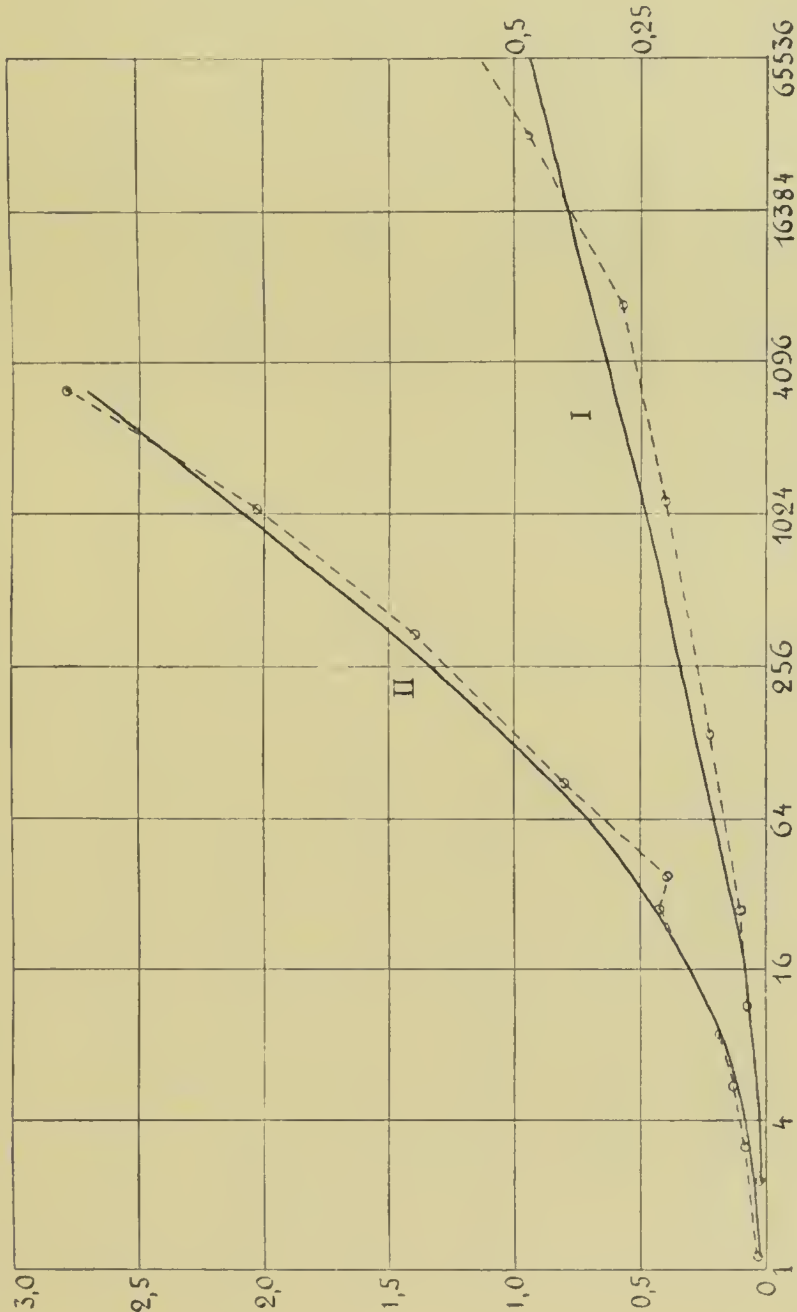


Fig. 18.

psychologischen Tatsachen und dem anatomischen Bau des Nervensystems nachzuweisen. Es gibt meines Wissens keine psychologische Erscheinung, die uns dadurch verständlicher wird, daß wir wissen, wie die betreffenden Gehirnteile anatomisch geordnet sind. In der Psychopathologie mag dies anders sein. Daß gewisse psychische Störungen, z. B. die verschiedenen

sogenannten aphasischen Krankheiten, häufig zusammen auftreten, versteht man unschwer, wenn man weiß, daß die Zentren der betreffenden Funktionen unmittelbar an einander grenzen; für die normale Ausübung solcher Tätigkeiten ist die Lage der Zentren aber dem Anschein nach belanglos, weil auch weit von einander lokalisierte Tätigkeiten innige Verbindungen aufweisen können. Selbstverständlich soll hiermit nicht behauptet werden, daß die anatomische Gliederung des Zentralnervensystems ohne psychologische Bedeutung sei. Im Gegenteil; es läßt sich gar nicht bezweifeln, daß bestimmte psychologische Verhältnisse völlig von der anatomischen Ordnung der Zentren abhängen; nur ist es der Wissenschaft bis jetzt nicht gelungen, solche Beziehungen zu entdecken. Wir beschränken daher die folgende Darstellung auf solche Grundzüge, die notwendig sind, um eine Vorstellung von der nachgewiesenen Lokalisation bestimmter Funktionen zu geben.

Das Nervensystem zerfällt in zwei Hauptteile: *das cerebro-spinale* System (Gehirn und Rückenmark) und die *autonomen* Systeme. Gehirn und Rückenmark bilden das eigentliche Zentralorgan, mit dem die autonomen Systeme verbunden sind; die letzteren sind als Zwischenstationen anzusehen, eingeschaltet zwischen das Zentralorgan und gewisse Erfolgsorgane, das Herz, die Drüsen und glatten Muskeln. Es gibt verschiedene solcher autonomen Systeme: das *sympathische* Nervensystem auf beiden Seiten der Wirbelsäule, vom ersten Brustwirbel bis zum Steißbein liegend, und ferner Gangliengruppen in der Brusthöhle *(Ganglion stellatum)*, in der Bauchhöhle *(Plexus solaris)* und in der Beckenhöhle *(Ganglion mesenterium inf.)*. Sowohl die autonomen Systeme als das Zentralorgan sind von Neuronen, Zellkörpern und Nervenfasern aufgebaut; während aber die Nervenfasern des Zentralorgans gewöhnlich markhaltig sind, sind die der autonomen Systeme zumeist marklos. Da die Nervenfasern aus den Zellkörpern entspringen, sind die beiden Arten von Gebilden überall innig mit einander verwoben. Die Nervenfasern aber, die weit von einander entfernte Zellkörper verbinden, sammeln sich oft zu Bündeln, die die Schichten der Zellkörper umgeben oder durchsetzen, und da die Nervenfasern weißlich, die Zellkörper grau sind, zeigen sich an Querschnitten oft sehr charakteristische Figuren verschiedener Färbung.

Die Ganglien des Zentralnervensystems sind in drei verschiedenen Schichten geordnet: die *peripheren* Ganglien, die

subkortikalen Zentren und die *Rinden* des Großhirns und des Kleinhirns.

Die *peripheren Ganglien* stehen mit den sensorischen Gehirn- und Rückenmarknerven in Verbindung. Die Ganglien der Gehirnnerven liegen in den Sinnesorganen, im Auge, im Ohr, in der Nase und der Zunge usw.; die peripheren Ganglien des Rückenmarks, die Spinalganglien, finden sich innerhalb der Wirbelsäule, kurz vor der Eintrittstelle der sensiblen Nerven in das Rückenmark. Diese Ganglien üben alle wesentlich dieselbe Funktion aus, indem sie von den Sinnesorganen die durch einen äußeren Reiz hervorgerufene Erregung empfangen und nach dem Gehirn weitersenden. Sie zeigen dementsprechend einen übereinstimmenden Bau; sie bestehen aus bipolaren Nervenzellen, deren Nervenfortsätze, je nach der Lage der Ganglien, verschiedene Länge haben. Solche Ganglien, die in den Sinnesorganen und mithin dem Reizungsorte sehr nahe liegen, haben nur einen äußerst kurzen peripheren Fortsatz, während der zentrale von bedeutender Länge sein muß. Die Spinalganglien dagegen, die dem Zentralorgane nahe liegen, haben nur einen kurzen zentralen Fortsatz, während der periphere meterlang sein kann.

Die *subkortikalen Zentren* bilden einen zusammenhängenden Strang, dessen unterer Teil, das *Rückenmark* (medulla spinalis, *ms* bis zu *nc.* I, Fig. 19), in der Wirbelsäule, und dessen oberen Teile im Schädel liegen und daher zum Gehirn gerechnet werden. Diese letzteren Teile sind, von unten nach oben gerechnet: das *verlängerte Mark* (medulla oblongata, *mo*), die *Brücke* (pons, *p*), die *Vierhügel* (corpora quadrigemina, *cq* Fig. 21), die *Hirnschenkel* (pedunculi oder crura cerebri, *pp*), die *Sehhügel* (thalami optici, *tho*) und die *Riechkolben* (bulbi olfactorii, *bo*). Die zentralen Nervenfortsätze der peripheren Ganglien stehen mit diesen subkortikalen Zentren in Verbindung, und aus denselben entspringen außerdem die zentrifugalen, motorischen Nerven. Die motorischen Nerven der Skelettmuskeln, welche die willkürlichen Bewegungen beherrschen, gehen direkt von den subkortikalen Zentren zu den betreffenden Muskeln; diejenigen Nerven aber, die die unwillkürlichen Bewegungen regulieren (die Gefäß- und Herznerven, die Nerven des Magens, der Därme, der Blase usw.), treten in die autonomen Zentren ein, aus deren Zellkörpern dann die zu den Erfolgsorganen verlaufenden zentrifugalen Nerven entspringen. Die subkortikalen Zentren stehen also nur mit den willkür-

lichen Muskeln in direkter Verbindung; in die anderen motorischen Fasern sind autonome Ganglien, in die sensiblen Fasern periphere Ganglien als Zwischenstationen eingeschaltet.

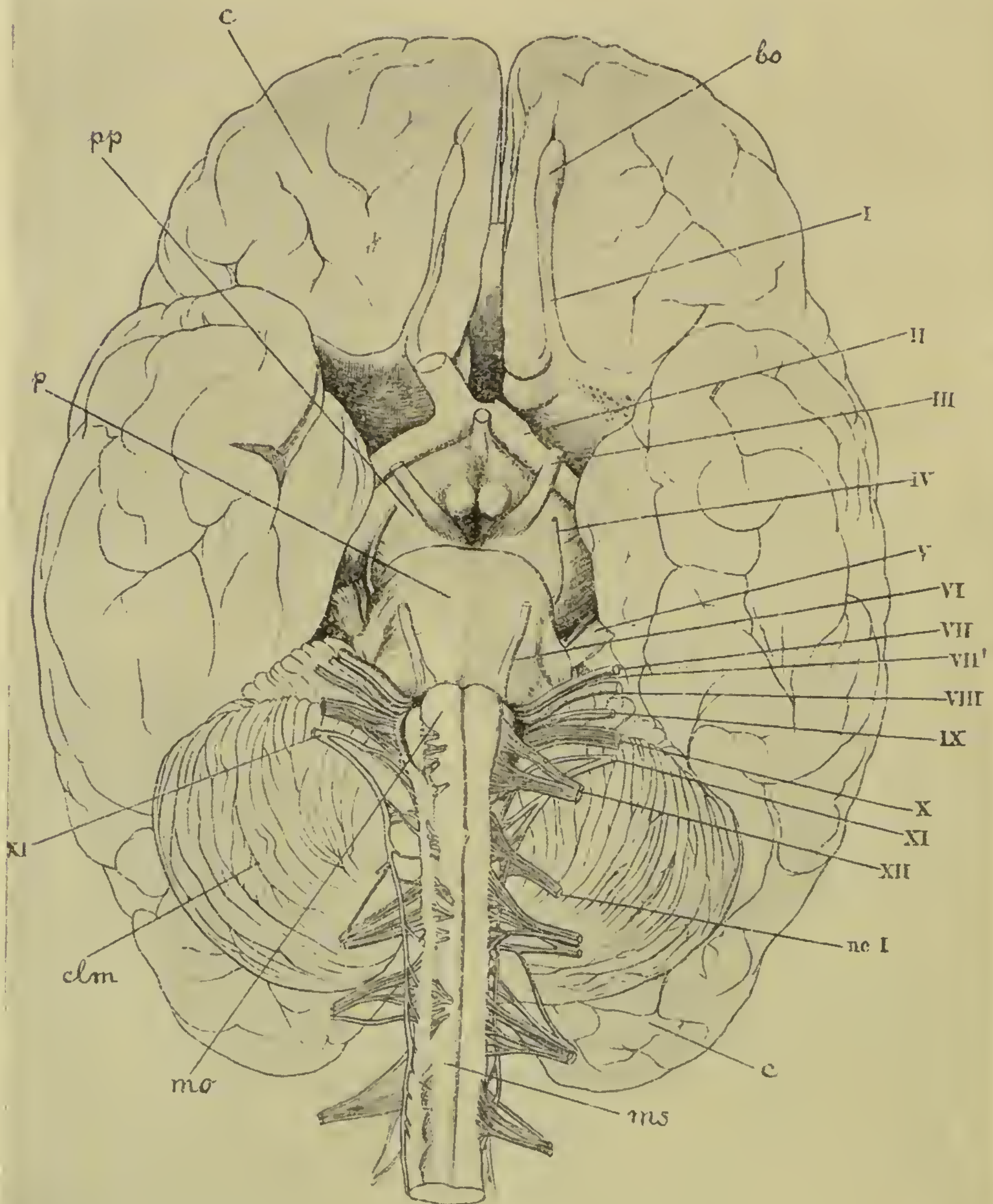


Fig. 19. Gehirn mit dem angrenzenden Teil des Rückenmarks (nach Rüdinger).

Im *Rückenmark* liegt die graue, hauptsächlich von Zellkörpern bestehende Substanz von der weißen, aus Nervenfasern gebildeten Substanz umgeben. Auf einem Querschnitt des Rückenmarks tritt die graue Substanz etwa in der Form

eines *H* hervor (vgl. Fig. 20, die nur die linke Hälfte des Markes darstellt). Das Rückenmark ist durch die vordere (*1*) und die hintere (*2*) Längsfurche in zwei symmetrische Hälften geteilt, die nur durch zwei schmale Brücken (*4*, *5*) mit einander verbunden sind; die Brücken sind durch den Zentralkanal (*3*) voneinander getrennt. Die aus der grauen Substanz entspringenden Nervenfasern treten an jeder Hälfte des Rückenmarks in zwei Gruppen heraus, die als die *hinteren* (*9*) und

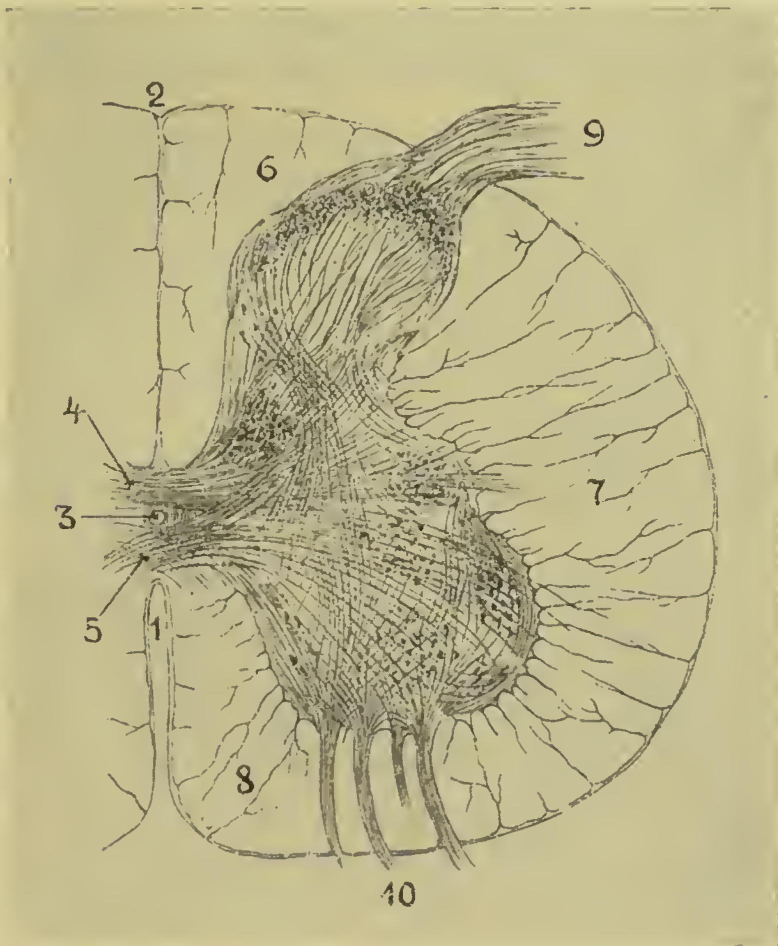


Fig. 20. Querschnitt des Rückenmarks (nach Huxley).

die *vorderen* (*10*) *Wurzeln* bezeichnet werden. Durch diese Wurzeln wird jede Hälfte des Rückenmarks in drei Teile geteilt: die Hinterstränge (*6*), die Seitenstränge (*7*) und die Vorderstränge (*8*). Die hinteren Teile der grauen Substanz werden die *Hinterhörner*, die vorderen Teile die *Vorderhörner* genannt. *Die von den Spinalganglien kommenden, in die Hinterhörner eintretenden Nervenfasern sind ausschließlich zentripetal, die aus den Vorderhörnern heraustretenden Fasern sind nur zentrifugal* (Bell'scher Satz). Die in der weißen Substanz ver-

laufenden Fasern verbinden die verschiedenen Segmente des Rückenmarks teils mit einander, teils mit den höher gelegenen subkortikalen Zentren und den Hirnrinden. Diese Leitungsbahnen sind sowohl zentripetal als zentrifugal; die ersteren pflanzen die Erregungen des Rückenmarks zu den höheren Zentren fort, die letzteren übermitteln die Erregungen der höheren Zentren zu den motorischen Zentren in den Vorderhörnern des Rückenmarks. Diese verschiedenen Leitungsbahnen verlaufen nur teilweise auf der Seite, wo sie entspringen, teilweise gehen sie auf die andere Seite über; es finden somit hier wie in den höheren Zentren fortwährend Kreuzungen der Bahnen statt.

Das *Kopfmark* oder *verlängerte Mark* bildet die unmittelbare Fortsetzung des Rückenmarks und hat einen in allem Wesentlichen übereinstimmenden Bau. Von den 12 Paaren sogenannter Gehirnnerven haben die 4 letzten (IX bis XII, Fig. 19) hier ihren Ursprung. Diese sind:

XII. Der *Zungenfleischnerv*, nervus hypoglossus, der Bewegungsnerv der Zungenmuskeln.

XI. Der *Beinerv*, n. accessorius, enthält ausschließlich motorische Nervenfasern, die teilweise in den Vagus übergehen.

X. Der *herumschweifende Nerv*, n. vagus, ist hauptsächlich sensorisch, enthält aber auch motorische Leitungsbahnen und nimmt gleich nach seinem Ursprung Äste des elften Hirnnerven auf. Der so zusammengesetzte Nerv gibt erst Äste zu dem Gaumen, Schlund, Kehlkopf und der Speiseröhre ab; später versieht er das Herz und die Lungen, darauf den Magen, die Leber und schließlich nach Einschaltung der autonomen Zentren auch die tieferen Baucheingeweide mit sensiblen und motorischen Fasern. Durch diesen Nerven wird eine große Anzahl vegetativer Funktionen, besonders die Blutzirkulation und die Atmung, reguliert, und die betreffenden Zentren des verlängerten Marks sind daher für die Erhaltung des Lebens unbedingt notwendig.

IX. Der *Zungenschlundkopfnerv*, n. glossopharyngeus, ist wesentlich Geschmacksnerv, enthält aber wahrscheinlich auch andere, sowohl sensible als motorische Fasern.

In den folgenden Teilen der subkortikalen Zentren liegt die graue Substanz nicht so regelmäßig gelagert wie in dem Rücken- und Kopfmark und bildet auch keine zusammenhängende Masse. Teils liegt sie als große Ganglienmassen

von der weißen Substanz umgeben, teils bekleidet sie die Wände der verschiedenen Hirnkammern. Von diesen Ganggliengruppen gehen die übrigen 8 Paar Gehirnnerven aus, während die weiße Substanz teils die Fortsetzung der Nervenfasern des Rücken- und Kopfmarks, teils die zahlreichen Leitungsbahnen enthält, die die verschiedenen subkortikalen Zentren untereinander und mit den beiden Hirnrinden verbinden.

Die *Brücke* enthält übrigens, außer den aus dem verlängerten Marke eintretenden Fasern, auch Leitungsbahnen, die die beiden Hälften des Kleinhirns verbinden. Aus den Ganglien der Brücke entspringen die vier folgenden Paar Gehirnnerven, V—VIII:

VIII. Der *Hörnerv*, n. acusticus, ist rein sensorisch.

VII. Der *Gesichtsnerv*, n. facialis, der Bewegungsnerv der Gesichtsmuskeln. VII' der Fig. 19 ist der n. intermedius, ein feines Bündel, daß sich vom Facialis abzweigt.

VI. Der *äußere Augenmuskelnerv*, n. abducens, der Bewegungsnerv des äußeren geraden Augenmuskels.

V. Der *dreigeteilte Nerv*, n. trigeminus, hat, wie die Rückenmarksnerven, eine motorische und eine sensorische Wurzel; er teilt sich bald in drei Äste, die die Tastempfindungen der Gesichtshaut und der Zunge, sowie die Kaubewegungen vermitteln.

Von dem hinteren Rande der *Vierhügel* kommt:

IV. Der *obere Augenmuskelnerv*, n. trochlearis, der Bewegungsnerv des oberen schrägen Augenmuskels, zwischen der Brücke und den Hirnschenkeln hervor.

Aus den *Großhirnschenkeln* entspringt:

III. Der *gemeinschaftliche Augenmuskelnerv*, n. oculomotorius, der Bewegungsnerv aller übrigen Augenmuskeln, die nicht mit dem vierten und sechsten Gehirnnerven in Verbindung stehen.

Am vorderen Rande der *Sehhügel* tritt:

II. Der *Sehnerv*, n. opticus, hervor. Kurz nach seinem Ursprung vereinigen sich die beiden Wurzeln (Chiasma nervorum opt., *II* Fig. 19), indem Fasern von der rechten auf die linke Seite und umgekehrt übertreten.

An der unteren Fläche des Großhirns tritt:

I. Der *Riechnerv*, n. olfactorius, mit den Bulbi olfactorii hervor.

Aus den angeführten Tatsachen ist ersichtlich, daß die subkortikalen Zentren einen in der Längsrichtung des Körpers

liegenden Strang bilden, der nach und nach von der Peripherie des Körpers eine außerordentliche große Anzahl Leitungsbahnen aufnimmt, so daß von jedem Punkte der Peripherie die Erregungen den Zentren zugehen können. Diese Erregungen werden dann wieder teils aufwärts, zentripetal, teils abwärts, zentrifugal, durch die Bahnen, die die Zentren untereinander verbinden, fortgepflanzt, damit schließlich bestimmte Veränderungen (psychische Zustände, Bewegungen, Sekretionen usw.) zustande kommen. Der Bau dieses Teils des Nervensystems ähnelt in hohem Grade dem Telephonnetz einer großen Stadt, wo sämtliche Drähte in ein dickes Kabel zusammenlaufen, und die Verbindung zwischen den einander nahe Wohnenden durch zahlreiche Nebenzentralstationen besorgt wird. Eine Verbindung zwischen je zwei beliebigen Punkten läßt sich aber unter solchen Umständen nur schwierig bewerkstelligen, indem mehr oder weniger Nebenzentralstationen mitwirken müssen. Leichter und sicherer wird die Verbindung beliebiger Punkte zustande gebracht, wenn das Kabel in eine Hauptzentralstation eingeführt wird, wo die Enden sämtlicher Drähte flächenförmig ausgebreitet werden, so daß sich ein Leitungsdraht zwischen je zwei solche Endpunkte leicht einschalten läßt. Eine solche flächenförmige Anordnung der Enden der Leitungsbahnen findet sich eben in zwei Organen des Zentralnervensystems, nämlich im Kleinhirn und im Großhirn.

Das *Kleinhirn*, cerebellum (*clm*, Fig. 19 u. 21), liegt unmittelbar hinter dem verlängerten Marke und steht durch dicke Bündel von Nervenfasern einerseits mit der Brücke, andererseits mit den Vierhügeln in Verbindung. Diese Leitungsbahnen sind aber Abzweigungen, keine direkten Fortsetzungen der großen Leitungsbahnen in den subkortikalen Zentren, und die Zerstörung des Kleinhirns unterbricht daher nicht die Leitung durch diese Bahnen. Im Inneren des Kleinhirns kommen zwar Anhäufungen grauer Substanz vor, die größte Entwicklung erhält die graue Substanz aber auf der stark gefalteten Oberfläche, die mit einer Rinde grauer Substanz bekleidet ist. Die Falten der grauen Oberfläche bieten auf Durchschnitten das Bild einer zierlichen Baumverzweigung dar (der Lebensbaum, arbor vitae, Fig. 21). Die Zellkörper der Rinde sind teils untereinander, teils mit den subkortikalen Zentren durch zahlreiche Nervenfasern verbunden.

Das *Großhirn*, cerebrum (*c*, Fig. 19 und 21), erreicht beim Menschen eine solche Entwicklung, daß es sämtliche übrige

Gehirnteile deckt. Sein Bau ist dem des Kleinhirns ähnlich. Auch im Großhirn liegt die weitaus mächtigste Anhäufung grauer Substanz auf der Oberfläche als eine das ganze Organ einhüllende Rinde, und die Zellkörper dieser Rinde stehen teils mit einander, teils mit den subkortikalen Zentren und den im Innern des Großhirns liegenden grauen Kernen in Verbindung. Eine bedeutende Ausdehnung erhält die Oberfläche, und mithin auch die graue Rinde, dadurch, daß sie stark gefaltet ist. Die tieferen dieser Falten haben bei allen Menschen eine übereinstimmende Lage und Richtung; kleinere

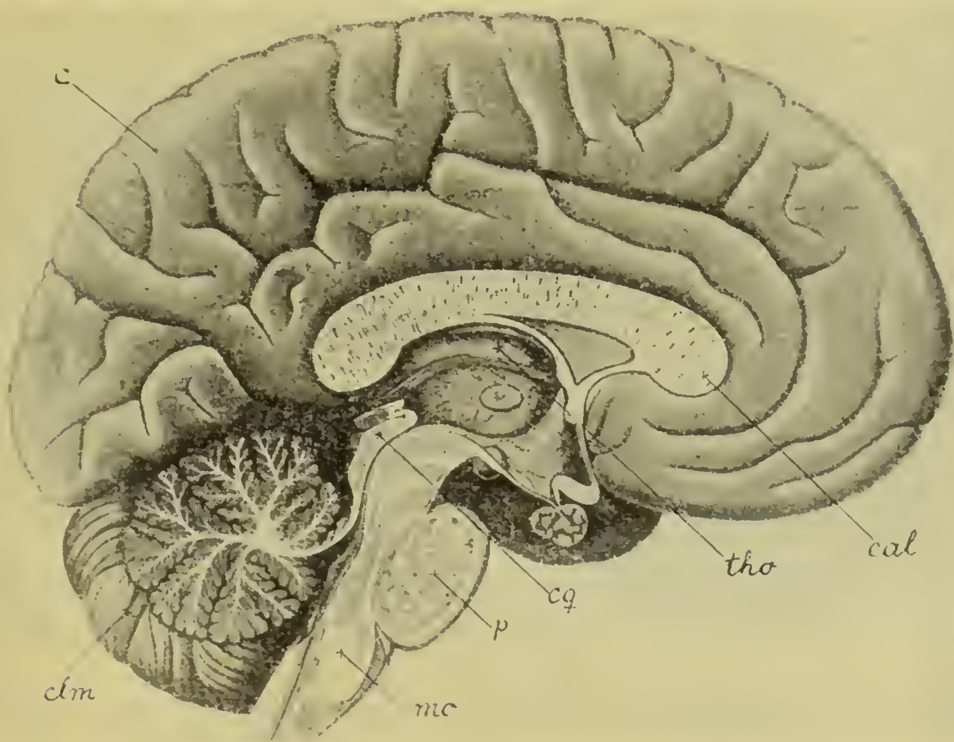


Fig. 21. Medianschnitt durch das Gehirn und das verlängerte Mark (nach Tigerstedt).

Furchen dagegen sind individuell verschieden. Außerdem nimmt unzweifelhaft die Anzahl der Furchen — und damit auch die Größe der Oberfläche — mit der Höhe der geistigen Entwicklung zu. Die Fig. 22 stellt das Gehirn eines gewöhnlichen Muskelarbeiters und dasjenige des Mathematikers Gauß dar; ein so auffallender Unterschied ist gewiß keine Zufälligkeit. Der größere Reichtum des letzteren Gehirns an Furchen vergrößert die Oberfläche und ermöglicht eine weit größere Anzahl Nervenzellen und Leitungsbahnen zwischen denselben innerhalb eines gegebenen Raumes; auf die psychologische Bedeutung dieses Umstandes kommen wir später

zurück (Kap. 18). Die Größe der Oberfläche des Großhirns schwankt im allgemeinen zwischen 1850 und 2200 cm^2.

Weil die Hauptwindungen des Großhirns, durch die Furchen von einander getrennt, wie gesagt im allgemeinen die nämliche Lage einnehmen und mithin als konstante Gebilde angesehen werden können, hat man dieselben so wie die Furchen benannt. Wie wir später sehen werden, sind gewisse psychische Tätigkeiten in bestimmten Windungen lokalisiert; um diese Lokalisationsverhältnisse zu verstehen, ist es daher notwendig, einen Überblick über die Windungen (gyri oder lobi) und die Furchen (fissurae oder sulci) zu erhalten. Hierzu dienen Fig. 23, die die rechte Hemisphäre von außen gesehen, und Fig. 24, die die mediale Fläche der linken Hemisphäre darstellt. An der ersteren Figur bemerkt man vorne die drei Stirnwindungen (gyrus frontalis superior, medius und in-

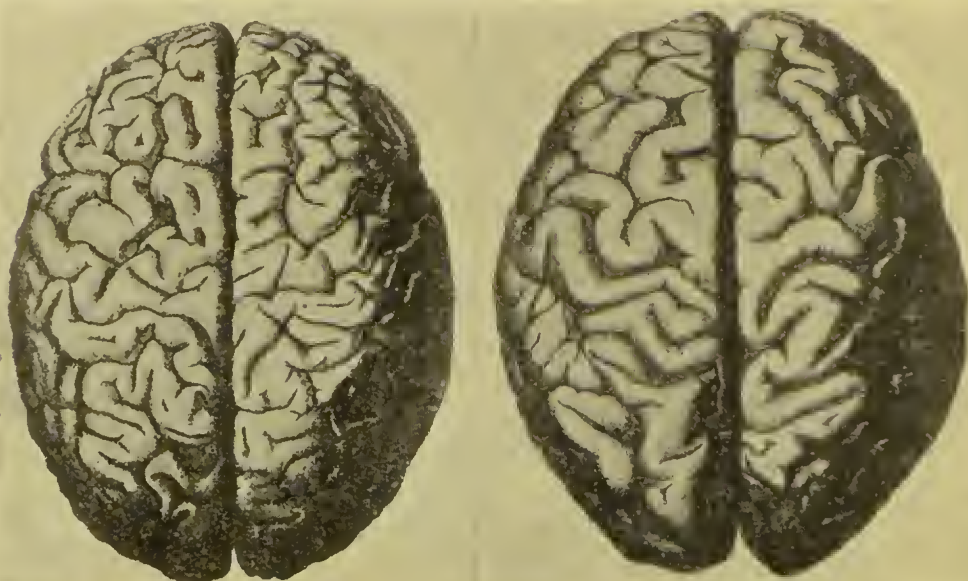


Fig. 22.

Gehirn des Mathematikers C. Fr. Gauß (nach Wagner). Gehirn eines Muskelarbeiters (nach Wagner).

ferior) durch sulcus frontalis superior und s. frontalis inferior getrennt. Gyrus frontalis superior nimmt außerdem auf der medialen Fläche (Fig. 24) einen großen Raum ein. Hinter den Stirnwindungen liegen die Zentralwindungen (g. centralis anterior und posterior) durch den s. centralis (auch fissura Rolandi genannt) voneinander getrennt. Unterhalb dieser Windungen schneidet sich von unten links nach oben rechts fissura Sylvii tief ein; diese Furche bildet die obere Grenze der drei Schläfenwindungen (g. temporalis superior, medius und inferior), die durch die Schläfenfurchen getrennt sind. Hinter den Zentralwindungen finden sich die beiden Scheitelwindungen (lobus parietalis superior und inferior), die bis zur fissura parieto-occipitalis reichen. Diese Furche ist auf der Außenseite des Gehirns kaum sichtbar, um so deutlicher ist sie auf der medialen Fläche (Fig. 21 u. 24). Auf der Außenseite liegen hinter der f. parieto-occipitalis die drei Nackenwindungen (g. occipitales).

Auf der medialen Fläche liegt hinter g. frontalis um die Zentralfurche lobus paracentralis, der wie die Stirnwindung unten von dem s. calloso-marginalis begrenzt wird. Darauf folgt praecuneus, bis zur fissura parieto-occipitalis, und zwischen der letzteren und der f. calcarina liegt cuneus. Von den darunter liegenden Windungen ist besonders g. hippocampi hervorzuheben. Innerhalb des s. calloso-marginalis liegt der fast ringförmige g. fornicatus. Eine Windung bedeutender Ausdehnung ist auf keiner der beiden Figuren sichtbar, indem sie von den Zentralwindungen verdeckt wird und nur zum Vorschein kommt, wenn man den oberen Rand der fissura

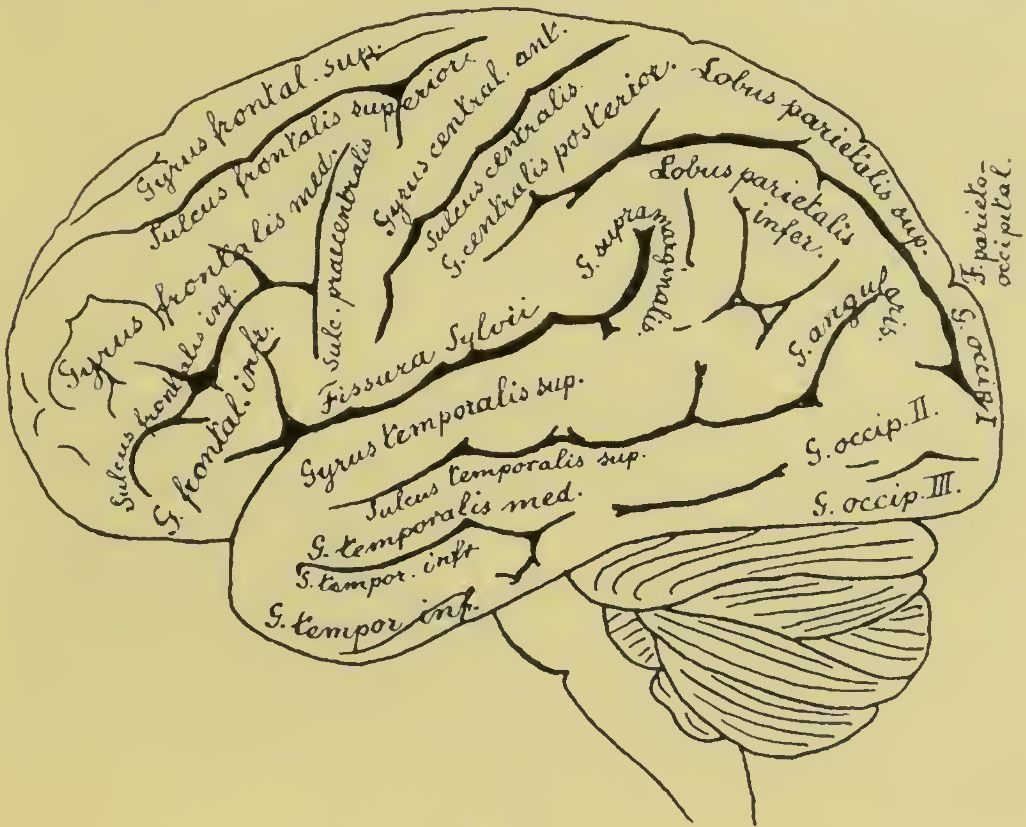
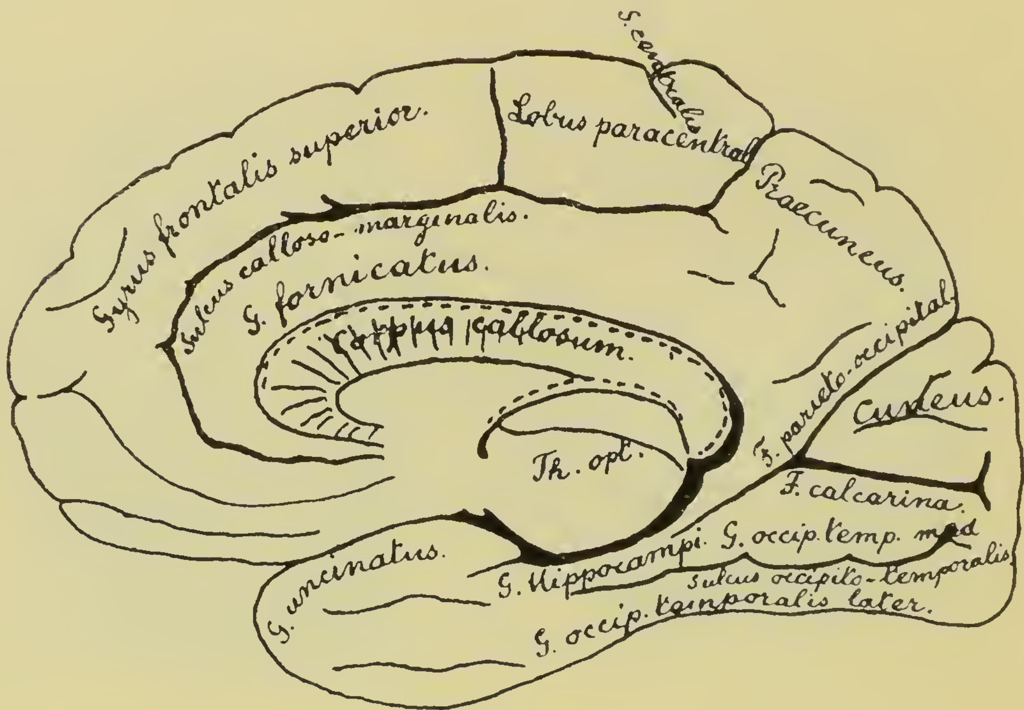


Fig. 23.

Sylvii in die Höhe hebt. Man erblickt dann eine breite dreieckige Windung, die Insel (insula).

Die *Leitungsbahnen*, die dem Großhirn die Erregungen von dem Körper zuführen, gehen von dem oberen Ende des thalamus opticus und der Vierhügel als Fortsetzung der Leitungsbahnen der subkortikalen Zentren aus. Indem sie von den genannten Organen nach allen Seiten ausstrahlen, bilden sie eine Art Strahlenkrone, den *Stabkranz* (corona radiata), dessen Fasern teils gekreuzt, teils ungekreuzt zur Hirnrinde gehen. Diese Leitungsbahnen werden auch als „Projektionsfasern“ bezeichnet, indem sie so zu sagen die Körperperipherie auf die Hirnrinde projizieren. Zum Stabkranze gehören auch

die zentrifugalen Fasern, die die Erregungen der Hirnrinde auf die Organe des Körpers, besonders auf die Skelettmuskeln übertragen; diese Bahnen sind immer gekreuzt. Die Stabkranzfasern gehen nicht zu jedem Punkte der Hirnrinde; sie endigen in ganz bestimmten Gebieten, in dem oberen Teile der Frontalwindungen, in den Zentral- und Temporalwindungen, im lobus paracentralis, gyrus Hippocampi, Cuneus und dem hinteren Teile der Occipitalwindungen (vgl. Fig. 25 und 26, wo die dunklen Punkte die Endigungen der Stabkranzfasern angeben). Die übrigen Rindenfelder, also der weitaus größte



F g. 24.

Teil der Frontalwindungen und der Occipitalwindungen, die Temporalwindungen und Praecuneus stehen nicht direkt mit den Stabkranzfasern in Verbindung.

Die verschiedenen Teile der Rinde sind durch mehrere Systeme von sogenannten „Assoziationfasern" mit einander verbunden. Die Zellkörper der einzelnen Windungen sind durch Fasern verbunden, die extrakortikal verlaufen, indem sie als ein Filz die graue Substanz umgeben, mithin die äußerste Schicht der Rinde bilden. Die verschiedenen Windungen stehen durch kurze Assoziationsfasern, unmittelbar unter der grauen Substanz verlaufend, miteinander in Verbindung. Die langen Assoziationsfasern verbinden die Rindenfelder, wo die Stabkranzfasern endigen, mit denjenigen, die keine direkte

Beziehung zu den subkortikalen Zentren haben. Schließlich sind die beiden Hemisphären des Großhirns durch die „Kommissurenfasern“ mit einander verknüpft. Diese Leitungsbahnen vereinigen sich zu einem dicken Bündel, dem *Balken* (corpus callosum, *cal*, Fig. 21), und verbinden nicht nur symmetrisch gelegene Stellen der beiden Hemisphären, sondern auch ein Feld der einen mit mehreren Feldern der anderen Hemisphäre.

Aus dem angeführten geht hervor, daß im Großhirn die möglichst vollständige Verbindung einerseits zwischen sämtlichen zentripetalen Leitungsbahnen und andererseits zwischen diesen und den zentrifugalen Leitungsbahnen hergestellt ist.

Dadurch wird erreicht, daß die zahlreichen gleichzeitigen Erregungen des Gehirns sich gegenseitig beeinflussen können und zwar in einer Weise, die von früheren Erregungen und von der dadurch bedingten, größeren oder geringeren Fahrbarkeit der Bahnen abhängig ist. Die hieraus resultierenden Erregungen der zentrifugalen Leitungsbahnen lösen daher die zweckmäßigsten körperlichen Veränderungen aus, die der Organismus unter den gegebenen Bedingungen leisten kann — was jedoch keineswegs ausschließt, daß die betreffenden Reaktionen sich später als im höchsten Grade unzweckmäßig herausstellen. Da aber, wie schon oben angeführt, die subkortikalen Zentren ebenfalls Verbindungen zwischen afferenten und efferenten Nerven bilden, so können Reaktionen auch ohne Mitwirkung des Großhirns zustandekommen. Was die verschiedenen subkortikalen Zentren in dieser Beziehung leisten können, soll im folgenden Kapitel erörtert werden.

Achtzehntes Kapitel.

Die speziellen Funktionen der Zentren.

Im Kapitel 9 haben wir gesehen, wie es eine notwendige Bedingung für das Leben einer Zelle ist, daß Kern und Protoplasma nicht getrennt werden; nach einer Zerschneidung sterben die nicht kernhaltigen Teile des Protoplasmas bald. Das Neuron ist eine Zelle, deren Kern im Zellkörper liegt, während die Nervenfortsätze nur Ausläufer des Protoplasmas sind. Hieraus folgt, daß Nervenfasern, die von den betreffenden Zellkörpern getrennt werden, degenerieren, sterben. Nach der Durchschneidung eines Nerven degeneriert immer derjenige Teil, der mit der Nervenzelle nicht verbunden bleibt, also bei den

zentrifugalen Nerven der periphere, bei den zentripetalen Nerven der zentrale Teil. *Jede Nervenzelle ist*, unabhängig von der Verbindung mit andern Zellen, *ein Zentralorgan, das seine Fasern ernährt.* Übrigens zeigt es sich, daß die Zellkörper auch von ihren Fasern abhängig sind. Wird ein zentripetaler Nerv peripher vom Spinalganglion durchschnitten, so stirbt früher oder später das Ganglion; es kann also das Leben nicht erhalten, wenn ihm gar keine Reize zugehen. Nach der Durchschneidung eines zentrifugalen Nerven dagegen degeneriert der zentrale Teil nicht, weil die Erregungen dem Zellkörper nicht durch den zentrifugalen Nerven, sondern von andern Nervenzellen aus zugehen.

Ferner lehrt die Erfahrung, daß die Nervenzelle ihren nutritiven oder trophischen Einfluß nicht nur auf die Nervenfasern, sondern auch auf die damit verbundenen Endorgane ausübt. Ein Muskel atrophiiert, wenn sein Bewegungsnerv durchschnitten wird, und selbst Sinnesorgane, wie z. B. die Geschmacksknospen, degenerieren nach der Durchschneidung des Geschmacksnerven. *Für die meisten Organe scheint die unversehrte Verbindung mit dem Zentralnervensystem die notwendige Bedingung für die Erhaltung ihrer Funktionsfähigkeit zu sein.*

Eine neue Erscheinung läßt sich beobachten, wenn zwei Neurone, das eine mit einer zentripetalen, das andere mit einer zentrifugalen Faser versehen, miteinander verbunden sind. Eine Erregung des afferenten Nerven pflanzt sich dann von dem ersten auf das zweite Neuron fort und bringt im Erfolgsorgan des efferenten Nerven eine Veränderung hervor. *Eine solche Übertragung einer Erregung von einem zentripetalen zu einem zentrifugalen Nerven ohne Mitwirkung des Bewußtseins nennt man einen Reflex.* Da jedes Segment des Rückenmarks, mit den beiden Nervenwurzeln versehen, eine Verbindung zwischen afferenten und efferenten Nerven bildet, so lassen sich schon von einem solchen isolierten Teil des Zentralorgans Reflexe auslösen. Beim unversehrten Rückenmark beschränkt sich die Übertragung jedoch nicht auf die Fasern, die demselben Segment angehören; die Erregung pflanzt sich sowohl in aufsteigenden als in absteigenden Bahnen fort, und es entstehen dann *geordnete Reflexe,* die durchaus den Charakter der Zweckmäßigkeit besitzen. Solche Reflexe können auch durch die höheren, subkortikalen Zentren, besonders durch das verlängerte Mark, zustande kommen. Durch das Kopfmark entstehen z. B. die für das Leben unbedingt notwendigen Reflexe, die die Atmung und den Herzschlag regulieren; die Sekretion des Speichels

und des Magensaftes, die von Geschmacksreizen ausgelöst wird, wird ebenfalls von hier aus geregelt.

Bei den geordneten Reflexen, die oft von einem einfachen Sinnesreize ausgelöst werden, treten zumeist eine sehr große Anzahl von Muskeln in Tätigkeit. Da jeder Muskel durch zentrifugale Nervenfasern, die von verschiedenen Neuronen ausgehen, innerviert wird, so pflanzt sich also die Erregung von den Neuronen des Zentralorgans, die zuerst erregt werden, durch zahlreiche Leitungsbahnen zu den verschiedenen motorischen Neuronen fort. Diese Leitungsbahnen stehen aber nicht ausschließlich im Dienste eines bestimmten Reflexes; sie können mehreren Reflexen gemeinsam sein. Jedenfalls leuchtet es ein, daß der motorische Nerv, der einen bestimmten Muskel in Bewegung setzt, zahlreichen Reflexen gemeinsam sein muß, weil dieser bestimmte Muskel in Kombination mit andern Muskeln sehr verschiedene Bewegungen hervorbringen kann. Liegen nun z. B. zwei Reize vor, von denen der eine eine Kontraktion, die andere eine Erschlaffung desselben Muskels auslöst, so müssen diese Reflexe in Konflikt geraten. Da sie nicht alle beide gleichzeitig stattfinden können, so muß der eine den anderen hemmen, oder sie heben sich gegenseitig auf. Je mehr Möglichkeiten gleichzeitiger, verschiedener Reizungen gegeben sind, um so leichter treten solche *Reflexhemmungen* ein. Von den höheren Zentren, und besonders vom Großhirn, das mit allen Leitungsbahnen in Verbindung steht, können in jedem Augenblick Erregungen ausgehen, die die von den niederen Zentren vermittelten Reflexe hemmen können. Die Reflexe treten daher viel sicherer hervor, wenn das Großhirn abgetragen wird, oder wenn sämtliche höhere Zentren auf die Weise ausgeschaltet werden, daß man das Rückenmark dicht hinter dem Kopfmarke durchschneidet. Diese Operationen lassen sich selbst an höheren Wirbeltieren, z. B. am Hunde, ausführen, und mittels solcher Tiere ohne Großhirn oder an „Rückenmarkstieren“ können die Reflexe und ihre gegenseitige Beeinflussung untersucht werden. Die so gefundenen Reflexgesetze sollen hier kurz erwähnt werden.[1])

Mit der Stärke des Reizes wächst fast immer nicht nur die Stärke, sondern auch die Verbreitung des Reflexes, indem immer mehr Muskeln in Tätigkeit versetzt werden.

---

[1]) Langendorff: Physiologie des Rücken- und Kopfmarkes. Nagels Handbuch, Bd. 4. Sherrington: Über das Zusammenwirken der Rückenmarksreflexe. Ergebnisse der Physiologie. Bd. 4, 1904.

Ist das Rückenmark eines Frosches dicht hinter dem Kopfmarke durchschnitten, löst eine schwache Berührung von einer Zehe des einen Hinterfußes eine Bewegung der berührten Zehe aus. Bei stärkerer Berührung beugen sich auch die übrigen Zehen und der Fuß; bei noch stärkerer hebt sich der Unterschenkel, schließlich auch der Oberschenkel.

Gleichzeitige oder kurz aufeinander folgende Reize, die ähnliche Reflexe hervorrufen, „bahnen", verstärken sich gegenseitig. Die Bahnung tritt besonders dann deutlich hervor, wenn beide Reize so schwach sind, daß jeder für sich nicht genügt, um den Reflex auszulösen; durch ihre gleichzeitige Einwirkung kann der Reflex dann zustande kommen.

An einem Hund mit durchschnittenem Rückenmark läßt sich der sogenannte Kratzreflex leicht auslösen, wenn die Haut eines sattelförmigen Feldes vom Rücken bis zum vorderen Teil des Bauches irgendwo gereizt wird. Das Hinterbein der gereizten Seite macht dann eine rythmische, kratzende Bewegung etwa an der gereizten Stelle, die Beugung der Hüfte und des Knies variiert aber ein wenig je nach dem Applikationsorte des Reizes. Die an verschiedenen Stellen ausgelösten Kratzreflexe sind sich mithin nur ähnlich, nicht identisch. Zwei gleichzeitige Reizungen an verschiedenen, voneinander weit entfernten Punkten verstärken sich indes so, daß die Exkursionen des Beines größer werden. Sind die Reize subminimal, so daß keiner von ihnen allein den Reflex auslösen kann, tritt er dennoch ein, wenn sie gleichzeitig wirken; die Wirkungen summieren sich.

Gleichzeitige Erregungen, die gemeinsame Leitungsbahnen beanspruchen und antagonistische oder nur verschiedenartige Reflexe auslösen, hemmen sich so, daß entweder der eine oder der andere, nie aber eine Kombination der beiden Reflexe zustande kommt. Dieses Hemmungsgesetz zeigt deutlicher als die übrigen Reflexerscheinungen den zweckmäßigen Charakter der Reflexe. Bei einer Kombination der Reflexe würde nämlich weder der eine noch der andere Zweck erreicht werden; nur wenn der eine Reflex völlig aufgehoben wird, kann der andere sein Ziel erreichen.

Eine große Anzahl solcher Reflexhemmungen sind nachgewiesen worden. Reizt man z. B. am „Rückenmarkshunde" die Zehen der rechten Hinterpfote, so werden reflektorisch die Muskeln des linken Beines gestreckt. Wird nun gleichzeitig von der linken Schulter aus der Kratzreflex ausgelöst, so ist das Zustandekommen der beiden Reflexe unmöglich, indem der Kratzreflex eine Beugung des Gliedes erfordert, das bei dem anderen Reflexe gestreckt werden soll. Entweder unterdrückt dann der Kratzreflex den Streckreflex oder umgekehrt; ein Kompromiß kommt nicht zustande. Ein analoges Beispiel ist der bekannte „Quakversuch". Reizt man leise die Rücken-

haut eines großhirnlosen Frosches, so quakt das Tier. Das Quaken kann aber durch eine gleichzeitige, genügend intensive Reizung beliebiger sensibler Nerven gehemmt werden.

Welcher der beiden sich hemmenden Reflexe den Sieg davonträgt, hängt von mehreren Umständen ab, die im folgenden erörtert werden sollen. Es müssen jedoch zuerst zwei fernere Gesetze der gegenseitigen Beeinflussung von Reflexen dargestellt werden.

Die Auslösung eines Reflexes ist fast immer mit einer gleichzeitigen Hemmung anderer Reflexe verbunden. Dieser Satz gilt jedenfalls für die reflektorischen Muskelbewegungen, weil die Muskeln fast immer unter normalen Umständen einen Tonus haben, d. h. sie befinden sich in einem reflektorisch ausgelösten, schwachen Erregungszustand. Ein Reiz, der eine Muskelgruppe in Tätigkeit versetzt, hemmt tatsächlich gleichzeitig den Tonus der Antagonisten, so daß diese erschlaffen.

Beim Kratzreflex läßt sich diese Hemmung leicht nachweisen. Ein Reiz an der linken Schulter, der das linke Hinterbein in Bewegung setzt, hemmt nicht nur den Tonus der Streckmuskeln dieses Beines, sondern auch den der Beugemuskeln des rechten Beines. Das letztere Bein wird nämlich während des Kratzens gestreckt, damit das Tier auf drei Beinen stehen kann. Analoge Hemmungen können bei den meisten anderen Reflexen der Skelettmuskulatur nachgewiesen werden.

Wenn ein Reflex einen antagonistischen hemmt, so bahnt er zugleich den gehemmten an, so daß derselbe, nach dem Aufhören des hemmenden Reflexes, mit größerer Stärke einsetzt.

Diese Erscheinung läßt sich auch am einfachsten bei den Tonushemmungen nachweisen. Wird ein Hund ohne Großhirn so aufgehängt, daß das Rückgrat horizontal ist, und die Glieder herabhängen, so findet man die Glieder aktiv gestreckt, als wenn das Tier stände. Wird nun durch irgend einen Reiz reflektorisch die Beugung eines Gliedes hervorgerufen, so kehrt beim Aufhören des Reizes das Glied in seine ursprüngliche Lage wieder zurück. Diese Rückkehr ist nicht ein einfaches Sinken infolge der Schwere, sondern eine aktive Streckung des Gliedes, und zwar ist die Streckung ausgesprochener als vorher. Der hemmende Reflex hat also den gehemmten, antogonistischen bei seinem Aufhören gebahnt.

Wenn zwei oder mehrere gleichzeitige Erregungen eine gemeinsame Nervenbahn durchlaufen, kann, wie wir gesehen haben, nur eine derselben einen Reflex auslösen, während sie die übrigen hemmt. Welche der sich bewerbenden Erregungen die Herrschaft über die gemeinsame Strecke gewinnt, ist hauptsächlich durch die folgenden vier Umstände bestimmt:

1. Die Intensität der Reize. Alles übrige gleich, wird der stärkere Reiz gewöhnlich die Herrschaft gewinnen.

2. Die Ermüdung. Durch eine lange dauernde Reizung ermüdet die betreffende Leitungsbahn nach und nach, wodurch es einem anderen Reiz möglich wird, einen neuen Reflex hervorzurufen und den bestehenden zu hemmen.

3. Die Bahnung des antagonistischen Reflexes. Da jeder Reflex bei seinem Aufhören den antagonistischen anbahnt, so erhält dieser also schon dadurch eine gewisse Wahrscheinlichkeit, unter mehreren sich bewerbenden Reflexen die Herrschaft zu gewinnen.

4. Die Art der Reflexe. Reize, die stark gefühlsbetonte Empfindungen hervorrufen, zeichnen sich durch die Leichtigkeit aus, mit der sie eine gemeinsame Strecke beherrschen. Wie die gefühlsbetonten Empfindungen leicht andere Bewußtseinszustände hemmen, so gewinnen auch die durch die betreffenden Reize erregten Reflexe leicht das Übergewicht über andere gleichzeitige Reflexe.

Vom Kopfmark und von den höheren subkortikalen Zentren können ebenso wie vom Rückenmark Reflexe ausgelöst werden. Da in dem Kopfmark und in den höheren Zentren viel mehr Leitungsbahnen zusammenlaufen und in umfassenderer Weise miteinander verknüpft sind als im Rückenmark, so zeichnen die Reflexe dieser höheren Zentren sich zumeist durch ihre Komplikation und Zweckmäßigkeit aus. Die Atmung z. B., die ein Zusammenwirken zahlreicher Muskeln erfordert, wird reflektorisch von gewissen Zentren des Kopfmarkes reguliert. Da übrigens im Kopfmarke die vier letzten Gehirnnerven ihren Ursprung haben, so werden unter normalen Umständen noch folgende Tätigkeiten reflektorisch vom Kopfmarke geregelt: die Speichelabsonderung, das Schlucken, die Magen- und Darmbewegungen, das Erbrechen, die Absonderung von Magensaft und Bauchspeichel, die Herzbewegungen, den Gefäßtonus und die Blutverteilung im Körper.

Wir können hier nicht die verschiedenen Funktionen der höheren subkortikalen Zentren auseinandersetzen. Größtenteils sind diese noch sehr wenig bekannt, da die Untersuchung mit außerordentlichen Schwierigkeiten verbunden ist. Dem Anschein nach würde es sehr einfach sein, irgend ein Zentrum auszuschalten und die dadurch verursachten Störungen zu beobachten. Zieht man aber in betracht, daß diese Zentren sämtliche zentripetale und zentrifugale Leitungsbahnen ent-

halten, die das Großhirn und das Kleinhirn mit dem ganzen Organismus verbinden, und daß jede Unterbrechung einer solchen Leitungsbahn Störungen herbeiführt, die gar keine Beziehung zur Tätigkeit des betreffenden Zentrums zu haben brauchen, so leuchtet es ein, daß die Feststellung der besonderen Funktionen dieser Zentren keine einfache Aufgabe ist. Wir beschränken uns daher im folgenden darauf, die Tätigkeit der gesamten subkortikalen Zentren darzustellen. Diese Tätigkeit läßt sich verhältnismäßig leicht ermitteln, wenn man das Großhirn ausschaltet, eine Operation, die sich, wie gesagt, selbst an höheren Wirbeltieren ausführen läßt.

Die Wirkungen, die nach Abtragung des Großhirns zu beobachten sind, werden um so größer, je höher das Tier in der Reihe der Wirbeltiere steht[1]).

Beim Frosch z. B. sind nach der Operation nur wenige Störungen nachweisbar. Da die Riechlappen mit dem Gehirn exstirpiert sind, fehlt dem Tiere der Geruchssinn; hiervon abgesehen, verhält es sich übrigens wie ein normales Tier. Es bewegt sich spontan, kann springen, schwimmen und Nahrung suchen; im Freien sich selbst überlassen, paßt es sich den äußeren Bedingungen an, fängt den Winterschlaf an und erwacht aus demselben wieder wie die unverstümmelten Tiere.

Der Hund ohne Großhirn ist dagegen ein ganz blödsinniges Tier, das sich selbst überlassen verhungern würde. Es bewegt sich spontan, wandert unaufhörlich auf und ab und schläft viel weniger als ein normales Tier; es wird daher trotz reichlicher Nahrung stark abmagern, wozu auch der Umstand beiträgt, daß die Wärmeregulierung des Körpers gestört ist. Sämtliche Sinne sind stark herabgesetzt. Der Geruchssinn fehlt natürlich vollständig; Tast-, Geschmacks- und Gehörssinn sind so herabgesetzt, daß nur starke Reize Reaktionen auslösen. Der Gesichtssinn ist unzweifelhaft vorhanden, aber nur minimal. Wenn der Hund im Dunkeln sitzt und plötzlich starkes Licht auf ihn fällt, so schließt er die Augen oder wendet gar den Kopf zur Seite. Dagegen kann er nicht die in den Weg gestellten Hindernisse mittels des Gesichtssinnes erkennen und ausweichen. Es fehlt ihm augenscheinlich das Verständnis von der Bedeutung der gesehenen Gegenstände; selbst das

[1]) Tigerstedt: Lehrbuch der Physiologie. 2. Bd. Tschermak: Die Physiologie des Gehirns. Nagels Handbuch, 4. Bd. 1905.

Futter muß mit der Schnauze in unmittelbarer Berührung gebracht werden, wenn das Tier fressen soll. Das Gedächtnis, die Fähigkeit, etwas zu lernen, scheint vollständig verschwunden; selbst die Bedeutung einer einfachen Handlung, die mit dem Hunde täglich vorgenommen wird, z. B. das Aufheben aus dem Käfig wegen des Fütterns, vergißt er von Tag zu Tag. Von allen Fähigkeiten scheint nur das Fressen wieder eingeübt werden zu können. Kurz nach der Operation kann der Hund nicht einmal das Fleisch kauen; damit es verschlungen wird, muß man es ihm tief in den Rachen schieben. Nach und nach erlernt er es aber, das Futter mit den Zähnen festzuhalten und zu kauen; schließlich kann er es nehmen, wenn es nur die Schnauze berührt.

Die subkortikalen Zentren sind somit imstande, alle für die Erhaltung des Lebens notwendigen Verrichtungen — mit Ausnahme der Aufsuchung der Nahrung — zu leisten. Von dem Seelenleben des großhirnlosen Hundes läßt sich natürlich mit Sicherheit nichts sagen. Die zweifellos starke Herabsetzung der Sinnestätigkeit, des Gedächtnisses und der Intelligenz im allgemeinen erlaubt uns jedenfalls zu behaupten, daß Bewußtseinserscheinungen, wenn sie überhaupt vorkommen, äußerst beschränkt sein müssen.

Im Vergleich mit dem Großhirn spielt *das Kleinhirn* eine ganz untergeordnete Rolle. Die Ausschaltung des Kleinhirns verursacht bei höheren Wirbeltieren, z. B. beim Hunde, weder motorische Lähmungen noch Herabsetzung der Sinnestätigkeit. Gleich nach der Operation ist die Energie der Muskeln stark vermindert, so daß das Tier sich aufzurichten nicht vermag, und alle Bewegungen sind äußerst schwankend und unsicher; bei intendierten Bewegungen treten häufig Krämpfe auf. Diese Störungen nehmen allmählich ab, so daß das Tier sich schließlich wie ein normales verhält, nur sind der Muskeltonus und die Energie der Bewegungen weniger stark (Asthenie), und die Regulierung derselben ist nicht genau (Ataxie). Sehr interessant ist es, daß die Störungen nach einseitigen Kleinhirnbeschädigungen, z. B. nach der Ausschaltung der einen Hemisphäre, viel ausgesprochener sind als nach vollständiger Abtragung des Organs. Anfangs bestehen dann Zwangsbewegungen; wenn das Tier versucht zu gehen, bewegt es sich im Kreise um die verletzte Seite, oft fällt es nach dieser Seite hin. Wenn diese Störungen abklingen, tritt die Ataxie deutlich hervor; die Erhaltung des Gleichgewichtes und der Gebrauch der Glieder

sind beeinträchtigt. Das Tier vermeidet womöglich die Extremitäten der operierten Seite zu benutzen.

Es geht hieraus hervor, daß *das Kleinhirn besonders zu den willkürlichen Bewegungen in Beziehung steht. Die feinere Regulierung dieser Bewegungen findet zweifellos hier statt, und die Energie der vom Großhirn ausgehenden Erregungen wird hier verstärkt.* Außerdem scheint jede Hälfte des Körpers besonders mit der entsprechenden Hälfte des Kleinhirns verbunden zu sein, so daß einseitige Beschädigungen des Organs Störungen auf derselben Seite herbeiführen. Hierdurch wird es verständlich, daß die einseitigen Verletzungen des Organs von augenfälligeren Erscheinungen begleitet sind als die beiderseitigen, indem die schwächere Körperhälfte der stärkeren das Gleichgewicht nicht halten kann.

Wenn schließlich von den *Funktionen des Großhirns* die Rede sein wird, beschränken wir uns hier auf eine Darstellung der Tätigkeit der grauen Rinde. Über die Funktionen der grauen Kerne im Inneren des Großhirns weiß man so wenig Sicheres, daß wir sie außer acht lassen können. Dieselben Umstände, die die Untersuchung der einzelnen subkortikalen Zentren erschweren, spielen hier eine womöglich noch größere Rolle; die verschiedenen Beobachtungen widersprechen sich daher so, daß unzweifelhafte Ergebnisse kaum noch vorliegen.

Die relativ leichte Zugänglichkeit der grauen Rinde hat dagegen die Feststellung einer großen Reihe Tatsachen ermöglicht. Experimentelle Untersuchungen an Tieren, so wie die dann und wann vorkommenden zufälligen Verletzungen menschlicher Gehirne haben es über jeden Zweifel erhoben, daß *die verschiedenen Regionen der Großhirnrinde keineswegs dieselben Funktionen haben.* Sowohl an Tieren als auch gelegentlich an Menschen hat man nachweisen können, daß eine Reizung nur von ganz bestimmten Rindenfeldern aus Muskelbewegungen auslöst, während sie an Feldern, die dicht neben den betreffenden liegen, dem Anschein nach keine Wirkung hat. Dagegen zeigt es sich, daß die Abtragung anderer Felder eine beträchtliche Herabsetzung oder vollständige Aufhebung gewisser Sinnestätigkeiten hervorruft. Wiederum andere Felder können beschädigt werden, ohne daß weder Motilitäts- noch Sensibilitätsstörungen eintreten; dagegen zeigt sich dann eine Herabsetzung höherer geistiger Tätigkeiten: das Verständnis der Bedeutung des wahrgenommenen fehlt, gewisse Gedächtnis-

leistungen fallen aus, die Intelligenz ist gesunken. Betrachten wir die Einzelheiten dieser Resultate etwas näher.

Am leichtesten läßt sich die Lage der *motorischen* Rindenfelder nachweisen, indem ihre Reizung sichtbare Wirkungen, Bewegungen willkürlicher Muskeln, zur Folge hat. Diese Felder liegen auf beiden Seiten der Zentralwindung (Fig. 25),

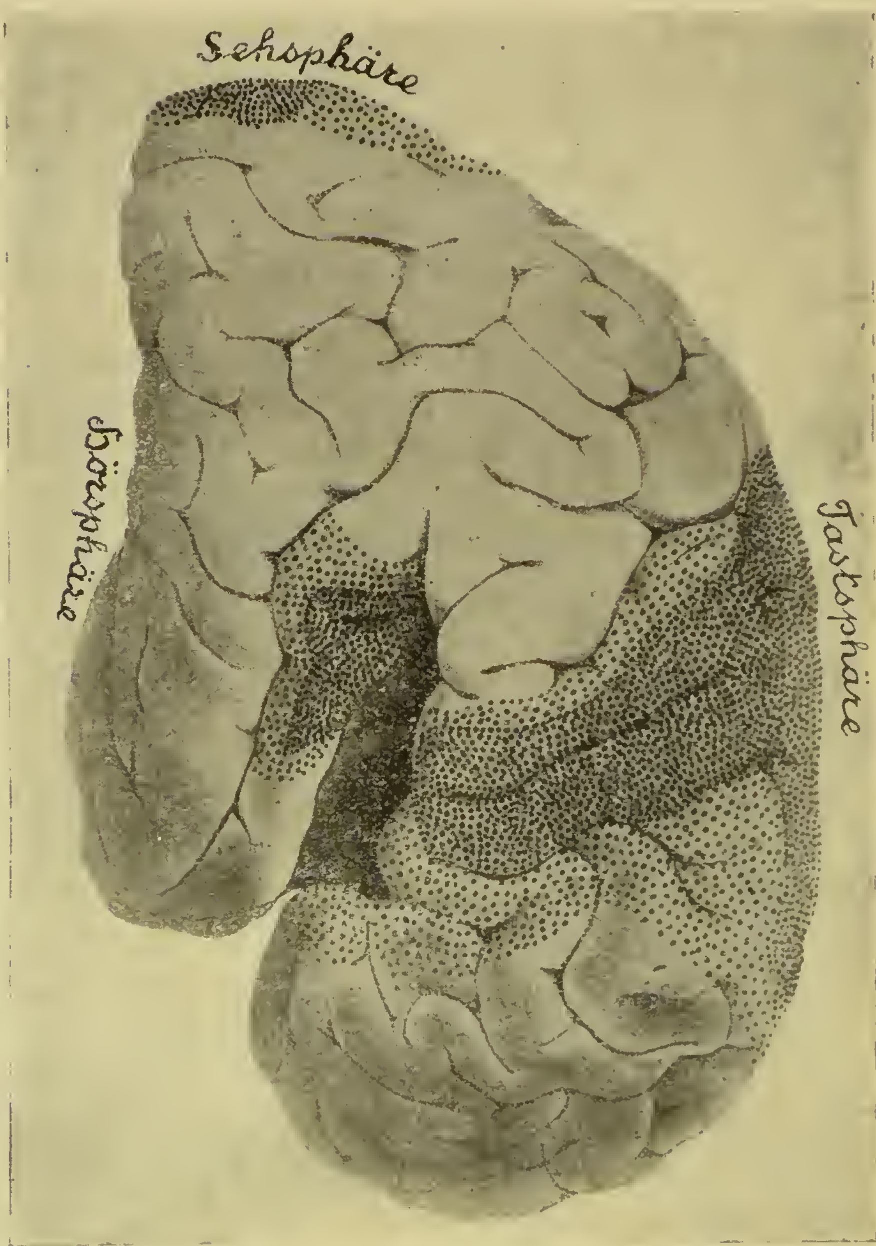


Fig. 25. Oberfläche des menschlichen Gehirns (nach Flechsig).

und durch schwache elektrische Reize können von hier aus Bewegungen ganz bestimmter Muskelgruppen erzielt werden. Es zeigt sich außerdem, daß *je höher das betreffende Tier in der Reihe der Säugetiere steht, um so schärfer ist die Lokalisation,* so daß man z. B. beim Affen sogar Bewegungen einzelner Finger, Augenlider usw. auslösen kann, während man z. B. beim Hunde immer relativ große Muskelgruppen gleichzeitig

in Bewegung setzt. Da der Bau des Menschengehirns dem des Affengehirns sehr ähnlich ist, so ist anzunehmen, daß die Lokalisationsverhältnisse auch analog sind, was denn auch in der Tat durch die gelegentlich gemachten Beobachtungen erwiesen ist.

In Übereinstimmung mit diesen Erfahrungen steht, daß die Abtragung begrenzter Teile der motorischen Felder Bewegungsstörungen der betreffenden Muskeln herbeiführt. Es zeigt sich aber auch hier ein bedeutender Unterschied zwischen den verschiedenen Tieren. Beim Hunde z. B. führt die Ausschaltung größerer Teile der motorischen Felder zwar sofort eine Störung der Muskelbewegungen der gekreuzten Seite herbei; die Störung ist aber nur vorübergehend. Nach und nach gewinnt das Tier wieder die Herrschaft über die betreffenden Muskeln, und es bleibt als Folge der Läsion nur eine gewisse Ungeschicktheit; die feinere Regulierung der Bewegungen fehlt. Dies stimmt sehr gut mit den oben angeführten Erfahrungen überein, daß der Hund ohne Großhirn noch alle willkürlichen Bewegungen ausführen kann. Beim Affen dagegen und wohl noch mehr beim Menschen ist die Ausschaltung der motorischen Rindenfelder von einer bleibenden Lähmung oder Schwäche der gekreuzten Muskeln begleitet. Es geht also aus diesen Beobachtungen hervor, daß *je höher das Tier in der Reihe der Säugetiere steht, um so größer ist die Bedeutung der motorischen Rindenfelder für die Ausführung willkürlicher Bewegungen.*

Wie leicht verständlich ist die Feststellung der Sinnessphären, der *sensorischen* Rindenfelder, schwieriger, weil die Herabsetzung oder das Fehlen irgend eines Sinnes nur aus dem Verhalten des Tieres geschlossen werden kann. Die zahlreichen vorliegenden Untersuchungen haben indes ergeben, daß das Rindenfeld des *Tastsinnes* wenigstens bei den Tieren mit der motorischen Region zusammenfällt. Beim Menschen ist dieses Zusammenfallen der beiden Regionen nicht so sicher; aber selbst wenn sie sich nicht genau decken, kann es keinem Zweifel unterliegen, daß das Rindenfeld des Tastsinnes die motorische Region und ihre nächste Umgebung umfaßt.

Die Abtragung der ersten Temporalwindung bewirkt Taubheit des gekreuzten Ohres; besonders der innere, der Insel zugekehrte Teil dieser Windung, die sogenannte Querwindung, scheint beim Menschen das Rindenfeld des *Gehörsinnes* zu sein. In allen Fällen von Taubheit als Folge

von Rindenstörungen haben sich die Querwindungen beschädigt erwiesen.

Eine analoge Beziehung besteht zwischen den Gesichtsempfindungen und dem Rindenfeld des *Gesichtssinnes*, das die erste Occipitalwindung und Cuneus, besonders die beiden Seiten der fissura calcarina umfaßt. Die Verbindung der Netzhäute mit dem Rindenfeld ist indes eine recht verwickelte, indem die äußeren Seitenteile jeder Netzhaut mit dem gleichseitigen, die übrigen Teile jeder Netzhaut mit dem gekreuzten Rindenfeld verbunden sind. Die Macula schließlich scheint sowohl mit dem gleichseitigen als mit dem gekreuzten Feld in Verbindung zu stehen, wodurch die Funktionsfähigkeit dieser Stelle des deutlichsten Sehens selbst bei größeren Rindenläsionen gesichert ist.

Über die Lokalisation des *Geruchs-* und *Geschmackssinnes* ist nur wenig Sicheres bekannt. Die anatomischen Verhältnisse, der Verlauf der Leitungsbahnen, deuten darauf hin, daß die betreffenden Rindenfelder an der medianen Seite der Stirnwindungen, im gyrus fornicatus und gyrus uncinatus sich finden (Fig. 26).

Die hier besprochenen motorischen und sensorischen Rindenfelder werden gewöhnlich als die primären bezeichnet. Sie haben das gemeinsam, daß sie mit den Fasern des Stabkranzes direkt in Verbindung stehen; die zentripetalen Stabkranzfasern endigen in den sensorischen, die zentrifugalen Fasern entspringen aus den motorischen Feldern. Es sind ausschließlich diese primären Rindenfelder, die mit den Stabkranzfasern verbunden sind; sie machen aber nur etwa ein Drittel der gesamten Gehirnoberfläche aus. Die übrigen Teile der grauen Rinde werden als die *sekundären* Felder, Binnenfelder oder Assoziationsfelder [1]), bezeichnet. Wie aus den Figuren 25 und 26 ersichtlich, gibt es drei solche Assoziationszentren: das vordere, das die beiden ersten Stirnwindungen umfaßt und zwischen Tast- und Riechsphäre gelegen ist; das mittlere, aus der Insel bestehend, das sich zwischen Hör-, Tast- und Riechsphäre einschiebt; das hintere, das die Parietalwindungen, die zweite und dritte Temporalwindung, die vorderen Teile der Occipitalwindungen und Praecuneus umfaßt und zwischen Seh-, Hör- und Tastsphäre gelegen ist.

Daß diese Assoziationszentren im Dienste höherer psychi-

---

[1]) Flechsig: Gehirn und Seele. Leipzig 1896.

scher Funktionen stehen, wird besonders durch eine von *Flechsig* beobachtete Tatsache wahrscheinlich gemacht. Sie sind nämlich noch einen Monat nach der Geburt des Kindes unreif, indem sie des Nervenmarkes gänzlich bar sind, während die in den Sinnessphären endigenden Nervenfasern schon vorher funktionsfähig geworden sind. Erst nach und nach umgeben sich die von den primären Zentren ausgehenden Nerven-



Fig. 26. Medianschnitt des menschlichen Gehirns (nach Flechsig).

fasern mit Nervenmark und schieben sich in die sekundären Zentren hinein, wo die von verschiedenen Sinnessphären kommenden Fasern miteinander in Verbindung treten.

Da die Assoziationszentren im Verhältnis zu den Sinnessphären verschieden gelegen sind, so steht zu erwarten, daß sie auch nicht dieselben Funktionen haben. Die Verknüpfungen des Gesichtssinnes mit den übrigen Sinnen sind eher im großen

hinteren Assoziationszentrum als anderswo zu suchen, während andererseits die Verbindungen des Gehörssinnes mit dem Tastsinne und den motorischen Erregungen im vorderen und mittleren Zentrum am einfachsten stattfinden können. Gewisse pathologische Erfahrungen zeigen, daß es sich jedenfalls in einigen Fällen tatsächlich so verhält. Das Sprechenlernen des normalen Kindes wird hauptsächlich vom Gehörssinne aus angeregt. Das Kind hört die Laute, mit welchen die Gegenstände der Umgebung bezeichnet werden, und nach vielen vergeblichen Bemühungen gelingt es ihm selbst, diese Laute hervorzubringen. Das Sprechen erfordert mithin zuvörderst eine Verbindung zwischen bestimmten Gehörsempfindungen und Innervationen der Stimmbänder, der Lippen usw. Später, wenn das Lesen und Schreiben erlernt werden, verbinden sich mit den Klangbildern außerdem die Gesichtsbilder der gedruckten und geschriebenen Buchstaben und die zum selbständigen Hervorbringen der Schriftzeichen nötigen Bewegungen. Beim Erwachsenen wird also das Sprechen im weitesten Sinne nur dadurch möglich, daß Verbindungen zwischen verschiedenen Reihen Klang-, Gesichts- und Bewegungsbilder zustande gebracht werden. Es liegt nahe, anzunehmen, daß diese Verbindungen von den Leitungsbahnen vermittelt werden, die die betreffenden sensorischen Rindenfelder teils untereinander, teils mit dem motorischen Feld verbinden. So verhält es sich aber tatsächlich nicht. Pathologische Erfahrungen haben es über jeden Zweifel erhoben, daß *die Fähigkeiten der Wortauffassung, des Sprechens, des Lesens und des Schreibens nicht in den Sinnessphären, sondern in sekundären Regionen lokalisiert sind.* Diese Regionen schließen sich zwar den Sinnessphären eng an, haben aber keine direkten Verbindungen mit den Stabkranzfasern.

Die Region der Auffassung des gesprochenen Wortes liegt im oberen Teil der ersten Temporalwindung, außerhalb der Hörsphäre. Ferner liegt das Zentrum der Sprechbewegungen im oberen Teile der dritten Frontalwindung, der sogenannten Broca'schen Windung. Größere Läsionen derselben setzen auch die Fähigkeit des Schreibens herab. Auf der anderen Seite der Hörsphäre, im gyrus angularis und in der zweiten Occipitalwindung, liegt das Zentrum des Lesens; eine Beschädigung dieser Windung und der unterliegenden Leitungsbahnen hebt die Fähigkeit auf, die geschriebenen oder gedruckten Buchstaben zu erkennen. Die Sprachregion bildet somit eine fast

zusammenhängende, horizontale Strecke von der dritten Frontalwindung bis zur ersten Occipitalwindung, und durch diese Lokalisation der mit dem Sprechen verbundenen Tätigkeiten wird es verständlich, wie Verletzungen der Sprachregion, je nach der Art und Ausdehnung derselben, die sehr verschiedenartigen Störungen, die unter dem Namen der „aphasischen Krankheiten“ zusammengefaßt werden, verursachen können. Diese Krankheiten treten zumeist nur dann auf, wenn die betreffende Region der linken Hemisphäre beschädigt wird. Sie können daher, wie übrigens die meisten anderen Störungen infolge Verletzung der Hirnrinde, nach und nach wieder aufgehoben werden, indem entweder die unversehrten Teile derselben Hemisphäre oder die andere Hemisphäre die Funktionen übernehmen.

Den angeführten Tatsachen zufolge nimmt man jetzt allgemein an, *daß nur die einfachen Empfindungen in den Sinnessphären entstehen.* Wie wir aber später (Kap. 21) sehen werden, sind die sogenannten einfachen Empfindungen, die durch möglichst einfache Reize hervorgerufen werden, wahrscheinlich noch recht zusammengesetzte psychische Gebilde; es ist daher sehr wohl möglich, daß die gleichzeitige Erregung mehrerer Sinnessphären einer einfachen Empfindung entspricht. Daß aber z. B. die Erregung der Sehsphäre die Hauptsache des Entstehens einer Lichtempfindung ist, läßt sich zweifellos aus der Tatsache folgern, daß die Zerstörung der Sehsphäre Blindheit herbeiführt. Ferner dürfen wir annehmen, daß es für die Entstehung einer Wahrnehmung, die als zusammengesetzt aufgefaßt wird, nicht ausreicht, daß mehrere Sinnessphären gleichzeitig erregt werden. Wie die Klangbilder der Wörter außerhalb der Hörsphäre lokalisiert sind, so ist anzunehmen, daß *alle zusammengesetzten Wahrnehmungen Erregungen sekundärer Zentren erfordern.* Der physiologische Mechanismus scheint hier mit einer bekannten psychologischen Tatsache übereinzustimmen, auf die wir etwas näher eingehen müssen.

Wenn eine Person irgend einen Gegenstand, z. B. eine Banane, nie gesehen hat, wird kaum je das Bild dieser Frucht entstehen, weil man der betreffenden Person eine gewisse räumliche Figur, eine hellgelbe Farbe und einen bestimmten Geruch ohne nähere Erklärung vorführt. Sagt man ihr aber, daß es eine Frucht von diesem Geruch, dieser Form und Farbe gibt, so gelingt es vielleicht — vielleicht aber auch nicht — der betreffenden, die verschiedenen Empfindungen zu

einem einheitlichen Bilde zu verschmelzen. Eine Reihe gleichzeitiger Empfindungen macht also keineswegs eine komplizierte Wahrnehmung aus; es muß noch ein besonderer psychischer Vorgang, eine Verschmelzung oder Synthese, hinzukommen, damit aus den isolierten Empfindungen eine Wahrnehmung oder Vorstellung entstehe. Dieser psychischen Verschmelzung entspricht aller Wahrscheinlichkeit nach die physiologische Erregung einer Neuronengruppe der sekundären Zentren. Indem die primären Erregungen der verschiedenen Sinnessphären sich weiter fortpflanzen, treffen sie irgendwo in einem sekundären Zentrum zusammen; dies Zentrum wird also von mehreren Seiten aus gleichzeitig in eine komplizierte Bewegung gesetzt, die eben der zusammengesetzten Wahrnehmung entspricht. Unter normalen Umständen, bei der Anschauung eines gegebenen Gegenstandes, tritt diese Fortpflanzung der Erregungen und damit die psychische Verschmelzung von selbst ein; soll die Wahrnehmung aber von isolierten Empfindungen konstruiert werden, erfordert sie eine besondere Tätigkeit seitens des Subjekts und gelingt keineswegs immer. Die große Bedeutung der Anschauung allen wörtlichen Beschreibungen gegenüber beruht wohl eben hierauf.

Von einigen Verfassern werden noch tertiäre Zentren als der Sitz der Gedächtnisbilder angenommen [1]). Man bezeichnet dann die sekundären Zentren als die *gnostischen*, die tertiären als die *mnetischen*. Die Tatsachen erfordern indes keine solche Unterscheidung, die wohl auch nur aufrechtgehalten wird, um als eine Art Anschauungsbild von der Aufbewahrung der Gedächtnisbilder zu dienen. Die psychischen Erscheinungen werden halbwegs als Gegenstände betrachtet, die in verschiedenen Schubladen aufgespeichert werden, wenn sie nicht eben im Gebrauche, „im Bewußtsein“ sind; die mnetischen Zentren sind eben solche Schubladen für die Aufhebung der Vorstellungen. Geht man aber von einer weniger grobsinnlichen Auffassung aus, betrachtet man die psychischen Zustände als Resultate der Energieumwandlungen in bestimmten Neuronen, so sind die Gedächtnisbilder leicht nach dem allgemeinen biologischen Gesetze der Übung zu erklären. Wir sahen oben (Kap. 14), daß die häufige Wiederholung einer Tätigkeit das Organ für diese spezielle Tätigkeit disponiert,

---

[1]) Vgl. Tschermak: Physiologie des Gehirns. Nagels Handbuch, 4. Bd. S. 107 u. f.

d. h. das Organ unterliegt bestimmten Veränderungen, so daß es später leichter in Tätigkeit gesetzt wird. Ist also eine Neuronengruppe mehrmals auf bestimmte Weise erregt worden, so hat sie sich dieser Tätigkeit angepaßt; ein geringer Anstoß von andern Zentren aus genügt dann, um die ganze Tätigkeit wieder auszulösen. Wie wir später (Kap. 57) sehen werden, sind die Leistungen des sogenannten Gedächtnisses eben hierdurch charakterisiert. Eine Unterscheidung zwischen gnostischen und mnetischen Zentren ist somit, wie auch Tschermak zugibt, recht gekünstelt. Die Tatsache aber, daß nach einer Hirnläsion gewisse Vorstellungen noch erkannt werden können, während sie dem Gedächtnisse völlig entschwunden sind, läßt sich leicht dadurch erklären, daß das betreffende Zentrum unversehrt ist, während die Leitungsbahnen, durch welche es von andern Zentren aus erregt werden kann, unterbrochen sind.

Nach dem Vorliegenden kann es kaum zweifelhaft sein, daß selbst ein relativ einfacher psychischer Zustand, wie die Wahrnehmung eines Gegenstandes, die Erregung einer sehr großen Anzahl Neurone sowohl in den Sinnessphären als in den sekundären Zentren erfordert. Hierdurch wird es aber höchst wahrscheinlich, daß gleichzeitige Erregungen des Gehirns ähnlichen Gesetzen unterliegen, wie den für die Reflexbewegungen nachgewiesenen. Daß diese gegenseitige Beeinflussung der Reflexe nämlich nicht in den Muskeln, sondern in den Nervenzentren, innerhalb der gemeinsamen Strecke, stattfindet, geht einfach aus den Gesetzen hervor. Wenn z. B. die Streckung eines Beines von einem neuen Reize aufgehoben wird, und das Bein sich beugt, so kommt dieser neue Reflex nicht dadurch zustande, daß die Beugemuskeln des Gliedes den Widerstand der Streckmuskeln überwinden. Die Erregung der Beugemuskeln hemmt gleichzeitig die der Streckmuskeln, so daß die letzteren erschlaffen (S. 127), selbst wenn der die Streckung herbeiführende Reiz noch fortdauert. Es ist also zweifellos, daß die reflexauslösende Erregung durch die neue Erregung aufgehoben, vernichtet wird, was nur durch eine Beeinflussung der betreffenden Nervenzentren erreicht werden kann. Wir dürfen daher annehmen, daß die Hemmungen und Bahnungen, die bisher fast ausschließlich mittels der Reflexe untersucht worden sind, von der Natur des Erfolgsorgans unabhängige nervöse Vorgänge sind. Es steht mithin zu erwarten, daß wir ganz analoge Erscheinungen auf psychophysiologischem Gebiete nachweisen können, indem die neuro-

dynamischen Vorgänge überall die nämlichen sind, und ihre Wirkungen sich nur, je nach der Natur des Erfolgsorgans, etwas verschieden gestalten. Wir werden später sehen, daß es sich zweifellos so verhält. Eine große Anzahl schon längst bekannter psychologischer Tatsachen läßt sich einfach durch die Hemmungs- und Bahnungsgesetze erklären. Die gesamte Psychodynamik ist nur die Anwendung dieser Gesetze auf verschiedenen Gebieten, so daß wir genügende Gelegenheit finden werden, ihre Gültigkeit nachzuweisen. Die Gesetze erfordern aber eine genauere Formulierung als diejenige, die man ihnen nach den relativ groben Reflexuntersuchungen hat geben können. Im folgenden (Kap. 20) soll eine solche Darstellung versucht werden; um aber der Ursache dieser neurodynamischen Verhältnisse nachzuspüren, betrachten wir zuvörderst die Tätigkeit der Großhirnrinde vom energetischen Gesichtspunkte aus.

Neunzehntes Kapitel.
Energetik der Nerventätigkeit.

Wie schon oben (S. 99) erwähnt, läßt sich durch Messung der Stärke des Aktionsstromes nachweisen, daß bei den Reflexen in den Ganglienzellen eine Verstärkung der Erregung, mithin eine Umwandlung der chemischen Energie der Nervenzelle stattfindet. Mit andern Worten heißt dies nur, daß eine solche, relativ einfache Nerventätigkeit mit einem Stoffverbrauche verbunden ist. Findet aber ein Stoffverbrauch während der Tätigkeit der subkortikalen Zentren statt, würde es jedenfalls höchst merkwürdig sein, wenn es sich nicht ebenso bei den regen Vorgängen der Hirnrinde verhielte. Von den vorliegenden Tatsachen ausgehend können wir somit erwarten, daß die psychophysiologischen Prozesse der Hirnrinde von einem lebhafteren Stoffwechsel begleitet sind. Die neueren Verfasser aber stellen entweder die Richtigkeit dieser Folgerung ganz in Abrede[1]), oder sie behaupten, daß die Vermehrung des Stoffumsatzes durch geistige Tätigkeit so geringfügig sei, daß unsere heutigen Methoden nicht ausreichen, um eine Wirkung nachzuweisen[2]).

[1]) Speck: Physiologie des Atmens. Leipzig 1892, S. 191. Zuntz: Höhenklima und Bergwanderungen. 1906, S. 229.

[2]) Nagel: Handbuch der Physiologie. Bd. 1, S. 579. Braunschweig 1906. Oppenheimer: Handbuch der Biochemie. Jena 1908. 7. Lief., S. 272.

Als Stütze dieser Behauptungen werden die experimentellen Untersuchungen von Speck, Atwater und Johansson angeführt. Eine solche Anwendung der erwähnten Untersuchungen muß einen kritischen Leser recht befremden, denn die Versuche Atwaters können in dieser Beziehung überhaupt nichts beweisen, während die Messungen der beiden anderen Forscher eher das Gegenteil dartun. Weil das vorliegende Problem für die Psychophysiologie in theoretischer Beziehung von entscheidender Bedeutung ist, müssen wir auf die betreffenden Untersuchungen etwas näher eingehen.

Die Einzelheiten der Versuchsmethodik können hier übergangen werden; die Hauptzüge des bei solchen Versuchen angewandten Verfahrens sind schon S. 53—54 dargestellt. In allen Fällen handelt es sich darum, die Kohlensäureausscheidung während der Arbeit zu bestimmen und mit demjenigen der Ruhe zu vergleichen. Findet man dann die während einer geistigen Arbeit pro Minute ausgeatmete Menge von Kohlensäure größer als in der Ruhe, und sind andere Ursachen eines vergrößerten Stoffwechsels ausgeschlossen, so ist damit nachgewiesen, daß die geistige Arbeit mit einem größeren Stoffumsatz einhergeht.

Speeks Versuche sind teils an ihm selbst, teils an einer anderen Person angestellt. Die geistige Arbeit war Lesung lateinischer oder griechischer Schriftsteller, Lösung mathematischer Aufgaben u. dgl.; während der Ruhe bemühte sich die Versuchsperson einzuschlafen. Ein sehr erheblicher Fehler der Versuchsanordnung war, daß Arbeit und Ruhe nicht unmittelbar aufeinander folgen konnten; es dauerte etwa eine Viertelstunde, die Apparate für den neuen Versuch in Ordnung zu bringen. Vom Verhalten der Versuchsperson während dieser Zwischenzeit wird nichts gesagt; daß sie sich nicht immer ruhig gehalten hat, ist aus den Tabellen[1]) ersichtlich, indem der Niveauwert, d. h. die Kohlensäureausscheidung während der Ruhe, nicht selten größer ist als die der Arbeit. Als Mittel zahlreicher Versuche geht dennoch hervor: *daß die Kohlensäureausscheidung bei geistiger Tätigkeit deutlich vermehrt ist.*

Speck meint indes, daß diese Vermehrung des Stoffwechsels bei geistiger Tätigkeit von gleichzeitig geleisteter Muskelarbeit herrühre. Bei seinen Leseversuchen war eine unbequeme Stellung un-

---

[1]) A. a. O. S. 205 und 207.

vermeidlich, die Lösung mathematischer Aufgaben erforderte Schreibbewegungen usw. Zur Kontrolle untersuchte er daher die Wirkung der unbequemen Stellungen, der Schreibbewegungen usw. ohne geistige Arbeit. Dies tat er aber nicht in der Weise, daß bei völlig unveränderter Stellung die geistige Arbeit einfach ausgeschaltet wurde; wegen der unzweckmäßigen Versuchsanordnung mußte der Versuch unterbrochen werden, und eine Viertelstunde später wurde eine neue, gewöhnlich viel unbequemere Stellung eingenommen. Selbstverständlich findet Speck, daß die unbequeme Stellung einen größeren Stoffumsatz als die bequeme erfordert. Ebenso stellt er Versuche mit Schreibbewegungen ohne geistige Arbeit an und findet, wenigstens in einem Falle, daß die Schreibbewegungen an und für sich einen lebhafteren Stoffwechsel herbeiführen als die Schreibbewegungen mit gleichzeitiger Lösung einer mathematischen Aufgabe. Hieraus folgert er, daß die geistige Arbeit keine Vermehrung des Stoffumsatzes bewirkt. — Selten ist wohl ein bedeutungsvolles Problem durch eine leichtsinnigere Schlußfolgerung erledigt, und dieses „Ergebnis" wird in den meisten physiologischen Handbüchern als „einwandfrei" und „entscheidend" angeführt. Sind die Versuche Specks wirklich einwandfrei, so ist der Beweis erbracht, daß geistige Arbeit den Energieverbrauch gleichzeitiger Muskelbewegungen herabsetzen kann; warum dieses hochinteressante Ergebnis nicht hervorgehoben wird, ist unverständlich.

Zweifellos haben Muskelbewegungen oder Spannungen bei den Versuchen Specks eine nicht genau bestimmbare Rolle gespielt, und das Ergebnis dieser Versuche ist daher bei weitem nicht entscheidend. Es ist dargetan, daß die Muskelspannungen unbequemer Stellungen eine meßbare Vermehrung des Stoffumsatzes verursachen. Es ist zweifelhaft, ob Schreibbewegungen und ähnliche kleine Bewegungen einen meßbaren Verbrauch erfordern, indem die Versuche bald ein, bald ein anderes Resultat ergeben haben. Es ist daher nicht unwahrscheinlich — aber keineswegs dargetan —, daß geistige Arbeit mit einem vermehrten Stoffumsatz einhergehe. Bei den von Speck untersuchten Arten geistiger Arbeit ist die Vermehrung des Stoffumsatzes jedenfalls so geringfügig, daß ihr Vorkommen, resp. Nichtvorkommen, sich einwandfrei nur durch eine Versuchsanordnung nachweisen läßt, wo bei völlig unveränderter körperlicher Haltung der Versuchsperson die geistige Arbeit nach Belieben ein- und wieder ausgeschaltet werden kann.

Die Versuche *Atwaters*, die mittelst sehr vollkommener Instrumente ausgeführt wurden, waren in psychologisch-methodischer Beziehung so ungeschickt, daß sie in betreff der vorliegenden Frage gar nichts beweisen [1]). Eine Versuchsperson war 12 Tage lang in

[1]) U. S. Department of Agriculture. Bul. Nr. 44, p. 51. Wash. 1897.

einem Respirationskalorimeter eingeschlossen, und diese Zeit wurde folgendermaßen zugebracht: Ruhe 1 Tag 15 Stunden, psychische Arbeit 3 Tage, Ruhe 3 Tage, Muskelarbeit 3 Tage, Ruhe 1 Tag 9 Stunden. Die Ruhe war indes keine vollständige; die Versuchsperson hatte stets verschiedene Messungen vorzunehmen, aber wie die übrige Zeit verstrich, wird nicht angegeben. Gedankenleer kann die Versuchsperson nicht gewesen sein; eine geübte Versuchsperson kann vielleicht 5 bis 10 Min. in einem solchen Zustande verbleiben, tagelang gelingt es aber nicht. Die Möglichkeit ist mithin gar nicht ausgeschlossen, daß die Versuchsperson an den sogenannten Ruhetagen eine größere psychische Arbeit geleistet hat als an den Tagen mit psychischer Arbeit. Diese Arbeit bestand nämlich teils in der Berechnung verschiedener Versuchsresultate, teils in dem Lesen einer deutschen physikalischen Abhandlung. Ganz mechanische Zahlenrechnungen sind aber tatsächlich eine äußerst leichte Arbeit, und ob das Lesen eine nennenswerte Arbeit erforderte, beruht ganz und gar auf der Schwierigkeit der Abhandlung und darauf, wie geläufig die Sprache dem Amerikaner war. Die Versuche waren also durchaus nicht rein; eine erhebliche psychische Tätigkeit muß an den Ruhetagen stattgefunden haben, und es kann daher nicht wundern, wenn das Ergebnis ein völlig negatives war. Atwater findet an den Ruhetagen durchschnittlich eine größere Ausscheidung von Kohlensäure als an den Tagen mit psychischer Arbeit. Entweder geht also die psychische Arbeit wirklich mit einer Verminderung des Stoffumsatzes einher, oder die Versuchsanordnung Atwaters ist zur Entscheidung der vorliegenden Frage ungeeignet. Das letztere ist wohl das wahrscheinlichere.

Zu demselben Ergebnis führen die Versuche von *Benedict* und *Carpenter*[1]), weil sie unter wesentlich den nämlichen Bedingungen angestellt sind. An den Versuchen beteiligten sich zweiundzwanzig Studierende; jede Versuchsperson führte während drei Stunden im Kalorimeter eine schriftliche Examenarbeit aus, wobei selbstverständlich Muskelbewegungen keineswegs ausgeschlossen waren. Die Kontrollversuche, die nicht an denselben Tagen stattfanden, dauerten ebenfalls je drei Stunden; während dieser Zeit beschäftigte sich die Versuchsperson mit leichter schriftlicher Arbeit. Unter der äußerst unwahrscheinlichen Voraussetzung, daß die Muskelarbeit in den beiden Versuchen genau gleich groß gewesen sei, kann der Unterschied des Stoffwechsels nur von der Differenz der Aufmerksamkeitsanspannung in den beiden Fällen herrühren. Gehen aber mit der größeren Anspannung eine tiefere Versunkenheit in die Arbeit und damit wieder weniger lebhafte Muskelbewegungen einher, so kann es sehr leicht geschehen, daß beim Kontrollversuche eine größere Kohlensäureausscheidung als bei der Prüfungsarbeit gefunden wird. Eben dies scheint in fast der Hälfte der Versuche eingetroffen zu sein. Im Mittel ergaben:

---

[1]) The influence of muscular and mental work on metabolism. Departm. of Agriculture. Bul. Nr. 208. Washington 1909.

13	Versuchsp.	bei	der	Arb.	je	105,2 g,	beim	Kontrollvers.	je	96,7 g CO_2
9	„	„	„	„	„	97,0 „	„	„	„	104,2 g „ .

Die absoluten Werte der beiden Gruppen sind also fast gleich groß, und dem Anscheine nach wird der Stoffwechsel durch die geistige Tätigkeit ebenso häufig und stark herabgesetzt wie vergrößert. Dies läßt sich wohl nur so erklären, daß die Wirkung der geistigen Arbeit durch die Muskelbewegungen völlig verdeckt wird, oder mit andern Worten: bei derartigen Versuchen müssen Muskelbewegungen völlig ausgeschlossen sein.

Die Versuche *Johanssons* schließlich haben ein positives Resultat ergeben. Johansson hatte sich die Aufgabe gestellt, die Ausscheidung von Kohlensäure an jeder Stunde des Tages bei völliger Muskelruhe zu bestimmen[1]). Unter diesen Umständen fand er, daß der Stoffwechsel im Wachen nicht größer als im Schlafe war. Hieraus hat man gefolgert, daß die psychische Tätigkeit keine Vermehrung des Stoffumsatzes bewirkt. Selbstverständlich regt sich im Wachen das Seelenleben — was ja übrigens im Schlafe auch nicht ausgeschlossen ist — aber zwischen der bloßen Wachträumerei und anstrengender geistiger Tätigkeit besteht doch wenigstens derselbe Unterschied wie zwischen leichter und anstrengender Muskelarbeit. Johanssons Messungen bestätigen diese Behauptung. Er hat 45 Versuche ausgeführt; bei 4 derselben bemerkt er: „Geistestätigkeit lebhaft". Im Mittel war die Kohlensäureausscheidung bei diesen 4 Versuchen 22,6 g pro Stunde; das Mittel der übrigen 41 Versuche war 20,7 g. Da jede Muskeltätigkeit in allen Fällen ausgeschlossen war, ist es mithin dargetan, daß *eine lebhafte Geistestätigkeit eine meßbare Vermehrung des Stoffwechsels herbeiführt.*

Das erwähnte Resultat wird vollends von den neuesten Untersuchungen von *Becker* und *Olsen* bestätigt[2]). Diese Versuche, die speziell zu dem Zwecke angestellt wurden, durch Vermeidung der oben angeführten Fehler ein entscheidendes Resultat zu erbringen, haben nicht nur einfach eine Vermehrung des Stoffumsatzes während geistiger Tätigkeit, sondern außerdem gesetzmäßige Beziehungen zwischen dem Stoffwechsel und der Größe der psychischen Arbeit ergeben. Eine Darstellung dieser Bestimmungen läßt sich daher kaum hier geben, ohne späteren Auseinandersetzungen vorzugreifen; wir kommen auf dieselben in Kap. 64 zurück.

[1]) Skandinav. Archiv für Physiologie. Bd. 8, 1898. S. 105.

[2]) Über den Stoffwechsel während psychischer Arbeit. (Noch nicht erschienen).

Ein kurzes Referat der bei diesen Versuchen angewandten Versuchsanordnung wird indes hier am Platze sein. Die Versuchsperson saß ruhig und bequem in einem Lehnstuhle, eine luftdicht schließende Maske vor dem Gesicht. Die Maske war aus leichtem Zinkblech hergestellt, der Rand derselben mit der Stentschen Masse belegt, worin das Gesicht der betreffenden Versuchsperson abgedrückt war. Zur noch größeren Sicherheit wurde diese gut schließende Maske mit einer dünnen Schicht Klebewachs versehen, so daß sie sich sogar an ein bärtiges Gesicht völlig luftdicht anklebte. Aus der Maske führten zwei mit Ventilen versehene Röhren, wodurch die Zufuhr der Luft und die Ausfuhr der Stoffwechselprodukte stattfanden. Die eingeatmete Luft passierte erst eine Gasuhr, die mit einem über einer Gradteilung sich bewegenden Zeiger versehen war; hierdurch konnte man die Luftmenge jeden Augenblick mit einer Genauigkeit von etwa 1 cm^3 ablesen. Um die Variationen des Atemvolums unter verschiedenen Umständen zu bestimmen, wurde die Gasuhr je 40 Sek. abgelesen; die Zeit wurde von einer genauen Uhr durch einen Glockenschlag markiert.

Die ausgeatmete Luft wurde in einen sehr leicht beweglichen, 100 l fassenden Gasometer eingeleitet, dessen Druck bei der Hebung der Glocke mittels eines Wasserstandsrohres automatisch konstant gehalten wurde. Es standen zwei solche Gasometer zur Verfügung; sobald die eine Glocke gefüllt war, was unter normalen Umständen etwa 10 Min. dauerte, konnte durch die Drehung eines Hahnes die gefüllte Glocke abgesperrt, und die Ausatmungsluft in die leere geleitet werden. Während der Füllung des zweiten Gasometers wurden Luftproben von dem gefüllten zur späteren chemischen Analyse genommen, und hierauf wurde die Glocke entleert. Auf diese Weise konnte die Arbeit, wo nötig, stundenlang fortgesetzt werden, und da das Atemvolum fortwährend notiert und die Zusammensetzung der Ausatmungsluft für je 10 Min. Arbeit bestimmt wurde, ließen sich die Größe und die Veränderungen des Stoffwechsels genau feststellen.

Neben den verschiedenen Messungen spielte bei diesen Versuchen die Selbstbeobachtung eine sehr wesentliche Rolle, da schon geringe Störungen, wie es sich bald zeigte, einen unverhältnismäßig großen Einfluß auf den Stoffwechsel ausübte. Vor der Versuchsperson stand daher ein Tisch mit schräger, verstellbarer Platte; neben dem Rechenheft, der Silbenreihe o. dgl., womit die Versuchsperson sich beschäftigte, lag ein Stückchen Papier zur Aufzeichnung der Selbstbeobachtungen. Da der Arm konstant in bequemer Lage auf dem Tische ruhte, und selbstverständlich nur die zum Andenken notwendigsten Worte geschrieben wurden, konnten diese Muskelbewegungen keinen meßbaren Einfluß auf den Stoffwechsel ausüben, was sich übrigens durch besondere Kontrollversuche feststellen ließ.

Die Versuche wurden nun auf folgende Weise ausgeführt. Wenn Puls und Atem der im Stuhle sitzenden Versuchsperson normal ruhig geworden war, wurde der Niveauwert des Stoffwechsels bestimmt, indem die Versuchsperson sich etwa 10 Min. möglichst regungslos und gedankenleer verhielt. Darauf fing die Arbeit an und wurde 30 Min. fortgesetzt. Die Arbeit war entweder die ge-

wöhnliche fortlaufende Addition einstelliger Zahlen oder Multiplikation zweier zweistelliger Zahlen; diese letztere Rechnung wurde im Kopfe ohne Niederschreiben des Resultats ausgeführt. Diese beiden Arbeiten wurden ununterbrochen 30 Min. lang fortgesetzt. Ferner wurden 8-, 12-, 16- und 20-gliedrige, sinnlose Silbenreihen auswendig gelernt. Nach jeder Reihe konnte die Versuchsperson eine Pause von 10—15 Sek. und ferner nach etwa 9 Min. Arbeit eine Pause von 40 Sek. Dauer machen, um gar zu großer Ermüdung vorzubeugen. Schließlich wurde, nach Beendigung der Arbeit, während 10 Min. wieder der Niveauwert des Stoffwechsels festgestellt. Wegen des ruhigen Sitzens war die nach der Arbeit pro Sekunde ausgeatmete Kohlensäuremenge immer etwas kleiner als die vor der Arbeit gefundene Menge; von der Ermüdung schien sie völlig unabhängig zu sein. Es durfte mithin angenommen werden, daß diese Verminderung des Stoffwechsels der Arbeitszeit proportional war, und da ferner die absolute Größe des Stoffwechsels während der Arbeit bekannt war, ließ sich der von der Arbeit herrührende Zuwachs des Stoffwechsels für je 10 Min. leicht berechnen. In betreff der Einzelheiten muß auf die erwähnte Arbeit verwiesen werden; die Ergebnisse werden uns später beschäftigen.

Indem wir es jetzt als festgestellt ansehen können, daß in energetischer Beziehung kein prinzipieller Gegensatz zwischen der Nerventätigkeit und allen anderen Vorgängen der Natur besteht, ist es mithin auch zulässig, anzunehmen, daß die allgemeinen Energiegesetze auf diesem Gebiete gültig sind. Es steht daher zuvörderst zu erwarten, daß die als Äquivalent des vermehrten Stoffverbrauchs auftretende „psychische Energie“ nicht einfach verschwinden kann. Entweder muß sie als irgendeine Form strahlender Energie aus dem Körper heraustreten, oder sie wandelt sich in Wärme um, oder sie wird schließlich zu inneren Veränderungen des Nervensystems, z. B. zur Überwindung des Widerstandes der Leitungsbahnen, verwertet.

Wie es sich nun tatsächlich hiermit verhält, ist nicht leicht zu entscheiden. Die Versuche Atwaters haben gezeigt, daß die Wärmemenge, die vom Körper produziert wird, genau der als Nahrung aufgenommenen chemischen Energie entspricht, so daß von einer Abgabe strahlender Energie kaum die Rede sein kann[1]). Andere Forscher glauben indes gefunden zu haben, daß das tätige Nervensystem radioaktiv sei; daß es sich aber bei diesen Versuchen um eine Täuschung handelt, scheint jetzt über jeden Zweifel erhaben zu sein[2]).

---

[1]) Ergebnisse der Physiologie. Bd. 3, Abt. 1, 1904.

[2]) Piéron: Grandeur et décadence des rayons N. L'année psychol., tm. 13, 1907, p. 143.

Selbst aber in dem Falle, daß das erwähnte Resultat sich bestätigen ließe, würde die Tatsache in keinem unlöslichen Widerspruch mit den Ergebnissen Atwaters stehen. Die Energie, die als Strahlen irgendeiner Art den Körper verlassen kann, wird gewiß so geringfügig sein, daß sie völlig durch die unvermeidlichen zufälligen Fehler der physiologischen Messungen verdeckt werden.

Was die Wärmebildung während psychischer Tätigkeit betrifft, ist sie mit Sicherheit noch nicht nachgewiesen. Das Gewicht des Nervensystems ist nur 2—3 % des Körpers, und die graue Substanz, in der sich die Wärme wohl ausschließlich bildet, ist wiederum nur ein Bruchteil des Gesamtgewichtes. Eine meßbare Temperaturerhöhung des Körpers wegen psychischer Tätigkeit steht daher nicht zu erwarten; dennoch meint Gley in einigen Versuchen eine Erhöhung der Körpertemperatur um 0,1° gefunden zu haben [1]. Direkte Messungen der Gehirntemperatur haben indes nur zweifelhafte Resultate ergeben, indem dann und wann eine Steigerung um 0,1° nachgewiesen worden ist [2]. Unwahrscheinlich ist es also nicht, daß die psychophysiologische Tätigkeit mit Wärmebildung einhergeht. Ob diese Wärme aber bei der Umsetzung der chemischen Energie entsteht ebenso wie die Elektrizität, oder ob sie von einer Umwandlung der „psychischen“ Energie herrührt, läßt sich selbstverständlich durchaus nicht entscheiden.

Für die dritte Möglichkeit, daß die durch die psychophysische Tätigkeit entwickelte Energie zu inneren Veränderungen des Gehirns verwendet wird, sprechen jedenfalls ganz unzweifelhafte Tatsachen. Ein meßbarer Stoffverbrauch ist, soviel wir wissen, nur beim Denken und beim Auswendiglernen nachweisbar; nur in diesen Fällen liegt eine intensivere geistige Tätigkeit vor. In beiden Fällen ergibt sich aber als Resultat der psychischen Arbeit, daß neue Verbindungen zwischen Vorstellungen gebildet sind. Die Entstehung solcher Verbindungen erfordert aber, daß Leitungsbahnen des Großhirns, die vorher wenig fahrbar waren, jetzt einen geringeren Leitungswiderstand darbieten. Es muß also eine physische Arbeit geleistet worden sein, und da ein solches Ausschleifen bestimmter Leitungsbahnen allen Erfahrungen nach nur durch

---

[1]) Binet et Henri: La fatigue intellectuelle. Paris 1898.

[2]) Mosso: Die Temperatur des Gehirns. Leipzig 1894. Berger: Untersuchungen über die Temperatur des Gehirns. Jena 1910.

anstrengende geistige Tätigkeit erreicht wird, so ist die Vermutung wohl nicht unberechtigt, daß die erwähnte Arbeit eben das physische Äquivalent der psychischen Energie sei. Dadurch ist natürlich die Möglichkeit gar nicht ausgeschlossen, daß außerdem geringe Mengen dieser Energie sich in Wärme und strahlende Energie (?) umwandeln.

Die Erhaltung der Energie des Zentralorgans. Da die Bewußtseinserscheinungen durch eine Zersetzung der Biogene des Zentralorgans zustande kommen, kann das Gehirn nur dann auf die Dauer tätig sein, wenn die Blutzufuhr der Größe der transformierten Energie gemäß reguliert wird, so daß die dekomponierten Biogene durch den Stoffwechsel ersetzt werden können. Diese Regulierung wird vom Gehirne selbst mittels drei verschiedener, voneinander fast völlig unabhängiger Vorrichtungen besorgt. Es können nämlich die Frequenz und Größe der Herzkontraktionen, das Lumen der Gefäße des Körpers und das Lumen der Hirngefäße variiert werden.

Bei unveränderter Größe der Herzkontraktionen wächst, wie leicht ersichtlich, mit der Frequenz des Herzschlages der arterielle Blutdruck und damit die Geschwindigkeit des Blutstromes. Das Herz nimmt nämlich während der Diastole eine bestimmte Blutmenge auf, die während der Kontraktion (Systole) wieder entleert wird. Je häufiger diese rhythmische Bewegung stattfindet, um so mehr Blut muß pro Minute von den Venen aufgenommen und in die Arterien eingepreßt werden; der Blutdruck sinkt daher in den ersteren und steigt in den letzteren Gefäßen. Durch diese Druckdifferenz wird das Blut in Bewegung gesetzt, und die Geschwindigkeit des Stromes wächst daher mit der Schlagfrequenz. Es zeigt sich indes, daß die Größe der Herzkontraktionen unter normalen Umständen mit wachsender Frequenz abnimmt; diese Abnahme ist jedoch im allgemeinen nicht größer, als daß die Geschwindigkeit des Blutes dennoch mit der Schlagfrequenz wächst, nur nicht so stark, wie es ohne Verminderung des Schlagvolumens der Fall sein würde. Je größer nun die Geschwindigkeit des Blutes wird, um so reichlicher können die Gewebe, alles übrige gleich, ernährt werden. Man findet daher auch durchweg, daß die Schlagfrequenz des Herzens mit der Leistung des Gehirns zunimmt.

Der nervöse Mechanismus, der diese Regulierung vermittelt, ist recht verwickelt; in den Hauptzügen verhält sich die Sache folgendermaßen. Die Herzbewegungen sind automatisch, d. h. das Herz trägt

in sich selbst alle Bedingungen, die zum regelmäßigen rhythmischen Schlagen notwendig sind; ein ausgeschnittenes Herz kann noch lange (ein Froschherz sogar stundenlang) weiter schlagen. Diese automatische Bewegung wird vom verlängerten Marke aus konstant reguliert, indem Nervenfasern, in dem nervus vagus und den ersten Rückenmarksnerven verlaufend, in das sympathische Nervensystem eintreten, von welchem dann Nerven zum Herzen gehen. Die regulatorischen Herznerven sind teils Hemmungs-, teils Förderungsnerven (Acceleratoren), so daß durch Reizung des verlängerten Markes sowohl Abnahme als Zunahme der Schlagfrequenz erzielt werden kann. Diese Wirkungen können auch von den wechselnden Zuständen der Hirnrinde herbeigeführt werden, indem von hier aus die Herzzentren des Kopfmarkes erregt werden. Auf die Einzelheiten dieser Veränderungen, die die verschiedenen psychophysiologischen Vorgänge begleiten, können wir hier nicht näher eingehen (vgl. Kap. 87).

Besäße der Organismus indes keine anderen Mittel als das Herz, um die Blutzirkulation zu regulieren, so wäre er offenbar recht unvollkommen ausgerüstet. Denn wenn infolge einer Arbeit des Zentralorgans der Herzschlag frequenter und damit die Geschwindigkeit des Blutstromes größer wird, so werden ja auch alle anderen Organe, als eben das Gehirn, eine lebhaftere Blutzufuhr erhalten, von der sie im Augenblicke möglicherweise gar keinen Gebrauch machen können. Dies würde wenigstens insofern unzweckmäßig sein, als das Herz dadurch gezwungen würde, eine ganz überflüssige Arbeit zu verrichten. Diese Wirkung der vermehrten Schlagfrequenz wird aber mittels des ganzen vasomotorischen Apparates kompensiert. Vom vasomotorischen Zentrum im verlängerten Marke aus kann die Gefäßmuskulatur jedes einzelnen Teils des Organismus, mit Ausnahme der des Gehirns, in Bewegung gesetzt werden, so daß die Gefäße sich entweder verengern oder erweitern. Da der Widerstand gegen den Blutstrom um so größer wird, je enger die Strombahn, so muß das Blut denjenigen Organen in größerer Menge zufließen, wo die Gefäßweite relativ groß, der Widerstand mithin klein ist. Hierdurch kann also eine Regulierung des Blutstromes in den verschiedenen Organen, je nach ihrem Bedarfe, erzielt werden. Auch ohne eine Veränderung der Schlagfrequenz des Herzens würde, wie ersichtlich, auf diese Weise dem Gehirne eine größere Blutmenge zufließen können, wenn der Widerstand im ganzen Körper sich entsprechend vergrößerte.

Die Untersuchungen über die körperlichen Begleiterscheinungen der psychischen Vorgänge haben nun in der Tat erwiesen, daß vasomotorische Veränderungen der Gefäße im

ganzen Körper mit jeder Bewußtseinserscheinung einhergehen. So wird z. B. die Innervation der willkürlichen Muskeln von einer Dilatation der Gefäße der Glieder und einer Kontraktion der großen Gefäße der Bauchorgane begleitet. Die Zweckmäßigkeit dieser Veränderungen leuchtet unmittelbar ein, indem dadurch den arbeitenden Muskeln mehr Blut zugeführt wird. Daß das vasomotorische Zentrum im Kopfmarke wirklich in solchen Fällen vom motorischen Zentrum der Hirnrinde aus erregt werden kann, geht daraus hervor, daß die erwähnten vasomotorischen Veränderungen nicht nur die tatsächlich ausgeführten Muskelbewegungen begleiten, sondern auch dann zustande kommen, wenn nur eine lebhafte Vorstellung von einer bestimmten Bewegung entsteht [1]). Dieselbe Wirkung wie die Bewegungsvorstellungen haben auch verhältnismäßig schwache, lusterregende Sinnesreize, während starke, unlusterregende Sinnesreize und anstrengende seelische Tätigkeit die entgegengesetzte Wirkung haben: die Gefäße der Bauchorgane erweitern sich, die der Glieder verengern sich. Es zeigt sich indes, daß die Gefäßveränderungen der verschiedenen Glieder keineswegs immer übereinstimmen; eine starke Verengerung der Gefäße der Arme kann sehr wohl von einer Erweiterung der Gefäße der Beine begleitet sein usw. [2]). Solche Schwankungen der Gefäßweite kommen übrigens schon während völliger Ruhe vor [3]); außerdem scheint ein gewisser Gegensatz zwischen den Gefäßen der äußeren Teile des Kopfes und denjenigen des übrigen Körpers konstant vorhanden zu sein [4]). Die Bedeutung all' dieser Veränderungen auf den verschiedenen Gefäßgebieten kann erst später dargelegt werden (Kap. 87). Daß die Veränderungen zweckmäßig sind, kann wohl als zweifellos angesehen werden. Wenn wir sehen, wie die Innervation willkürlicher Muskeln sofort vasomotorische Veränderungen zugunsten dieser Organe herbeiführt, kann es kaum einem Zweifel unterliegen, daß das Gehirn ähnlicherweise nicht nur seine eigene Blutversorgung, sondern auch die aller übrigen Organe reguliert.

---

[1]) E. Weber: Das Verhältnis von Bewegungsvorstellung zu Bewegung. Monatshefte für Psychiatrie und Neurologie. Dez. 1906.

[2]) Lehmann: Elemente der Psychodynamik. S. 452.

[3]) Lehmann: a. a. O. S. 441 u. f.

[4]) Weber: Über Gegensätze im vasomotorischen Verhalten usw. Archiv für (Anatomie und) Physiologie. 1908. S. 189. Weber: Der Einfluß psychischer Vorgänge auf den Körper. Berlin 1910. S. 92.

Diese Zweckmäßigkeit tritt denn auch bei der dritten Vorrichtung zur Regulierung der Blutversorgung zutage: jede psychische Tätigkeit geht mit einer Erweiterung der Hirngefäße einher. Eine Ausnahme kommt, soviel wir vorläufig wissen, nur bei sehr starken, unlusterregenden Reizungen vor: dann verengern sich die Hirngefäße[1]). Die Erweiterung der Gefäße unter normalen Umständen ist leicht verständlich; dadurch wird den arbeitenden Neuronen mehr Blut zugeführt. Nicht ganz so einfach läßt sich das Verhältnis bei starken Reizen erklären. Da die zersetzte Stoffmenge nämlich mit der Stärke der Reizung zunehmen muß, so ist zu erwarten, daß die Erweiteruug der Hirngefäße mit der Stärke der Reizung einigermaßen anwachsen wird. Bis zu einer gewissen Grenze findet dies tatsächlich auch statt; bei noch stärkeren Reizen kontrahieren sich aber die Gefäße. Wie wir später sehen werden (Kap. 87), ist dies paradoxe Verhalten der Hirngefäße während sehr starker Reizung eine sehr zweckmäßige Schutzvorrichtung, wodurch die Neurone gegen übermäßige Anstrengung geschützt werden. Als Resultat der vorliegenden Untersuchungen dürfen wir daher feststellen, daß *die Zirkulationsveränderungen, die während psychischer Tätigkeit stattfinden, zweckmäßig sind, indem sie zur Erhaltung der Integrität des Zentralorgans dienen.*

Die vasomotorischen Veränderungen der Hirngefäße werden nicht vom allgemeinen Vasomotorenzentrum im verlängerten Marke reguliert, sondern von einem speziellen Zentrum, das mehr zentralwärts als das erstere liegt. Die genaue Lage dieses Zentrums ist indes bisher nicht festgestellt worden[2]).

Zwanzigstes Kapitel.

Dynamik der Nerventätigkeit.

Die Hemmung. Gehen wir jezt davon aus, daß jede Erregung des Zentralorgans die Umwandlung einer bestimmten Menge chemischer Energie hervorruft, so folgt hieraus einfach, daß zwei gleichzeitige Erregungen, die eine gemeinsame Strecke

---

[1]) Berger: Über die körperlichen Äußerungen psychischer Zustände. 1. Teil. Jena 1904. S. 123; 2. Teil. Jena 1907. S. 66 u. f.

[2]) Weber: Über die Selbständigkeit des Gehirns in der Regulierung seiner Blutversorgung. Archiv für (Anatomie und) Physiologie. 1908. S. 457 u. f.

haben, sich gegenseitig hemmen müssen. Da die Energie der tätigen Neurone während der Arbeit nicht beliebig vergrößert, sondern nur konstant erhalten werden kann (S. 89), so ist innerhalb der gemeinsamen Strecke nur eine konstante Energiemenge verfügbar, und was hiervon zu einer Arbeit verbraucht wird, kann nicht gleichzeitig eine andere Arbeit leisten. Wie verwickelt sich die psychophysiologischen Tätigkeiten auch gestalten mögen, müssen sie jedenfalls den energetischen Grundgesetzen unterliegen; folglich kann auch auf diesem Gebiete eine gegebene Menge chemischer Energie nur in eine äquivalente Menge anderer Energien transformiert werden. Es findet daher eine Verteilung der Energie innerhalb der gemeinsamen Strecke unter die beiden Erregungen statt. Wie dies vonstatten geht, wissen wir selbstverständlich nicht genau; unsere jetzigen anatomischen und physiologischen Kenntnisse erlauben jedoch, einige der hierbei wahrscheinlich mitwirkenden Momente nachzuweisen.

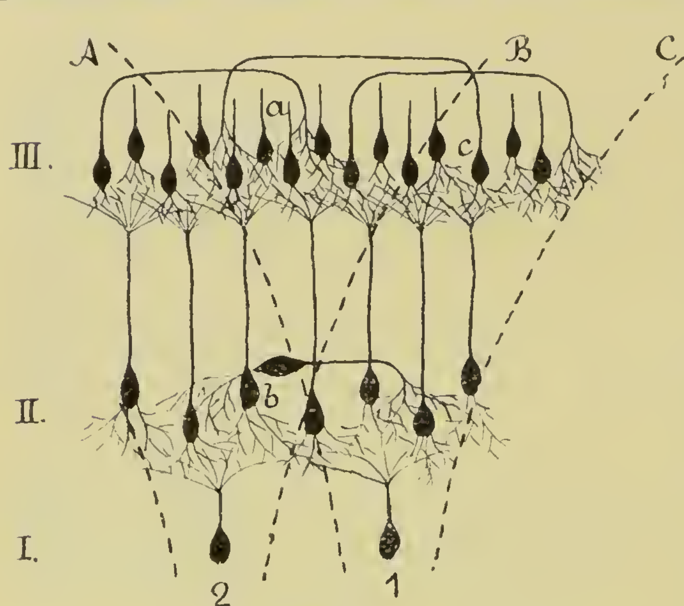


Fig. 27.

Um unseren Betrachtungen bestimmte Verhältnisse zugrunde zu legen, sehen wir uns die Figur 27 an, die verschiedene höhere Zentren und ihre gegenseitigen Verbindungen schematisch darstellen soll. Die erste Neuronenreihe (I), die die Erregung empfängt, steht mit zahlreichen Neuronen der folgenden Reihe (II) in Verbindung. Diese beiden Reihen können z. B. eine Sinnessphäre darstellen, die mit dem entfernter liegenden Assoziationszentrum (III) verbunden ist. Die Neuriten der letzterwähnten Schicht führen zu verschiedenen anderen Rindenfeldern; der Übersicht wegen sind nur die Neuriten gezeichnet, die einander nahe liegende Punkte verbinden. Stellen wir uns jetzt vor, daß das Neuron *1* erregt wird, so pflanzt sich diese Erregung zu immer mehr Neuronen fort, indem jedes Neuron mit zahlreichen anderen in Verbindung steht. Es ist jedoch nicht anzunehmen, daß sämtliche Neurone,

die direkt oder indirekt mit *1* verbunden sind, auch erregt werden. Zweifelsohne bieten die Neurone einer gegebenen Erregung sehr verschiedene Widerstände dar, so daß einige stark, andere schwach, wieder andere gar nicht erregt werden. Geht man von der ursprünglichen Form der Neuronentheorie aus, nach welcher keine kontinuierliche Leitung, sondern nur eine Übertragung der Erregung durch Kontakt stattfindet, so ist die verschiedene Erregbarkeit eine einfache Folge des höchst verschiedenen Übergangswiderstandes an den Kontaktstellen. Nimmt man dagegen eine kontinuierliche Leitung durch die Neurofibrillen an, so muß die Erregbarkeit eines Neurons um so größer werden, je mehr Neurofibrillen dasselbe mit dem erregenden Neuron verbinden. Wie man sich die Übertragung der Erregung auch vorstellt, kommt man in jedem Falle zu der Annahme, daß die mit dem Neuron *1* in Verbindung stehenden Neurone keineswegs gleich stark erregt werden, und daß mithin auch eine größere oder geringere Anzahl gar nicht erregt wird. Wird nun gleichzeitig das Neuron *2* erregt, so pflanzt sich auch von demselben auf analoge Weise die Bewegung fort, und die zwischen den Linien *1A* und *2B* liegenden Neurone bilden folglich, da sie sowohl mit *1* als *2* in Verbindung stehen, eine gemeinsame Strecke dieser Erregungen. Innerhalb dieser gemeinsamen Strecke werden nun verschiedene Neurone leichter vom Neuron *2* als von *1* aus erregt; sie werden daher in eine andere Tätigkeit versetzt und mithin der ursprünglichen, vom Neuron *1* ausgehenden Erregung entzogen, d. h. die neue Erregung hemmt die schon bestehende. Umgekehrt hemmt diese letztere auch die erstere, indem zahlreiche Neurone vom Neuron *2* aus nicht erregt werden können, weil sie leichter vom Neuron *1* aus erregt werden und daher diese Tätigkeit fortsetzen. *Eine gegenseitige Hemmung kommt also einfach dadurch zustande, daß die Neurone innerhalb der gemeinsamen Strecke nicht gleichzeitig in zwei verschiedene Tätigkeiten versetzt werden können.*

Die hier gegebene Erklärung der Hemmung stimmt, wie ersichtlich, vollständig mit dem von *H. E. Hering* aufgestellten Satz überein: *Hemmung ist Erregung, aber eine andere Erregungen störende Erregung*[1]).

Aller Wahrscheinlichkeit nach ist indes die erwähnte

---

[1]) Die intrazentralen Hemmungsvorgänge. Ergebnisse der Physiologie. 1. Bd., 2. Abt. 1902. S. 516.

gegenseitige Störung der Erregungen innerhalb der gemeinsamen Strecke nur ein Moment des komplizierten Hemmungsvorganges; auch außerhalb dieser Strecke muß eine Wirkung stattfinden. Wir wissen nämlich, daß jede Nervenfaser sowohl zentripetal als zentrifugal leitet; durch die Zellkörper kann sich eine Erregung aber nur in der Richtung nach dem Erfolgsorgan fortpflanzen (S. 99). Ist also z. B. das Neuron *a* (Fig. 27) vom Neuron *1* aus erregt worden, so läßt sich das Neuron *b* hierdurch nicht in Tätigkeit setzen, weil *b* kein Erfolgsorgan des Neurons *a* ist. Da aber das erregte Neuron *a* negativ elektrisch im Verhältnis zu *b* ist und mit demselben in leitender Verbindung steht, so muß Energie, jedenfalls in der Form von positiver Elektrizität, von *b* nach *a* strömen. Dieser interzelluläre Energiestrom, der die Assimilation in *a* fördert (S. 106), kann nur durch eine fortwährende Dissimilation in *b* unterhalten werden. Die Größe dieser Dissimilation ist von dem Leitungswiderstand und dem Potentialgefälle zwischen *b* und *a* abhängig. Eine Auslösung findet dabei nicht statt, da das Neuron *b*, wie wir wissen, auf diesem Wege nicht erregbar ist. Es handelt sich also nur um die relativ kleine Zersetzung, die die Ionenverschiebung in der Leitung erfordert, und die wahrscheinlich nicht größer ist, als daß sie durch die Assimilation in dem mit dem erregten *a* unmittelbar verbundenen Neuron *b* ersetzt werden kann. Durch diesen Stoffverbrauch nimmt einerseits die Leistungsfähigkeit des Neurons *b* ab, andererseits wird ihre Assimilation lebhafter. Was hier beispielsweise von *a* und *b* gesagt worden ist, gilt selbstverständlich von allen erregten und den damit in direkter Verbindung stehenden peripherer gelegenen Neuronen. Ist aber die Leistungsfähigkeit dieser Neurone vermindert, so wird eine Erregung derselben eine relativ geringere Wirkung haben, d. h. sie wird von der Erregung gehemmt, die die Leistungsfähigkeit herabgesetzt hat.

Berger hat diese Auffassung, die ich schon früher recht eingehend auseinandergesetzt habe [1]), völlig mißverstanden. Er findet es notwendig, festzustellen: „Die kortikale chemische Energie entsteht lokal und wird lokal verbraucht [2]).“ Damit bin ich völlig einverstanden. Ich habe nie behauptet, daß chemische Energie, zer-

---

[1]) Die körperlichen Äußerungen psychischer Zustände. 2. Teil, 1901. S. 262 u. f.

[2]) Berger: Über die körperlichen Äußerungen psychischer Zustände. 2. Teil. S. 215.

setzbare Biogene, in den Nerven strömen können; eine solche Annahme, „die unseren ganzen anatomischen und physiologischen Kenntnissen von der Hirnrinde widerspricht“, ist mir nie eingefallen. Eine Verschiebung elektrisch geladener Ionen dagegen ist etwas ganz anderes, und diese Annahme scheint mir noch, unseren ganzen physikalischen und physiologischen Kenntnissen zufolge, unvermeidlich [1]). Ein Organismus oder ein Organ ist nämlich nicht über die allgemeinen physikalischen Gesetze erhaben. Wird ein Organismus zwischen die Pole einer starken galvanischen Batterie eingeschaltet, so funktioniert er als feuchter Leiter, und steht eine beliebige Nervenfaser mit einer erregten in Verbindung, so pflanzt sich notwendig die Erregung in der ersteren fort, bis sie im Zellkörper entweder eine Erregung auslöst oder aufgehoben wird. Es ist sehr wohl möglich, daß die in Rede stehenden Energieströme so geringfügig sind, daß sie ohne wesentliche Bedeutung für die Hemmungserscheinungen sind; eine um so größere Rolle spielen sie wahrscheinlich für die Bahnung.

Ob sich neben den erwähnten Momenten bei der Verteilung der Energie noch andere Faktoren geltend machen, ist von geringer Bedeutung; die Hauptsache ist, daß die Hemmung auf einer solchen Verteilung einer gegebenen konstanten Energiemenge unter zwei oder mehrere gleichzeitige Erregungen beruht. Wie stark sie sich dabei hemmen, hat kein großes Interesse, wenn es sich um Reflexbewegungen handelt, weil diejenige Erregung, die die motorischen Zentren in Anspruch nimmt, ganz und gar die Reflexbewegung bestimmt. Zwei psychophysiologische Vorgänge dagegen, zwei Erregungen desselben oder benachbarter Rindenfelder können sehr wohl nebeneinander bestehen, ohne daß die eine die andere ausschließt; nur wird dann die Stärke beider Erregungen herabgesetzt. Dasselbe findet auch auf allen physikalischen Gebieten statt, sobald eine konstante Energiemenge gleichzeitig verschiedene Arbeiten leisten soll; jede Arbeit wird kleiner, als es der Fall sein würde, wenn eine der Arbeiten allein ausgeführt wäre. Unabhängig von der Form der umgewandelten Energie gilt für solche physikalischen „Hemmungen“ ein einfaches Gesetz, das als allgemeines Energiegesetz auch für die Hemmungen des Zentralnervensystems sich gültig erweisen muß. Wie wir im dritten Buche sehen werden, bestätigt die Erfahrung vollauf diese Annahme; wir gehen daher hier auf dieses Gesetz etwas näher ein.

---

[1]) Die Theorie wird auch von Sherrington (The integrative action of the nervous system, London 1910, S. 199 u. f.), obwohl mit einigen Reservationen (S. 203), festgehalten.

Es seien $\frac{1}{p}$ und $\frac{1}{q}$ die Bruchteile der freien Energie, die sich umwandeln würden, wenn jede der beiden Arbeiten allein geleistet würde, $\frac{1}{P}$ und $\frac{1}{Q}$ die Bruchteile der Energie, die tatsächlich umgewandelt werden, wenn die beiden Arbeiten gleichzeitig sind. Man findet dann allgemein:

$$\frac{\frac{1}{p}-\frac{1}{P}}{\frac{1}{p}}=\frac{1}{Q} \text{ und } \frac{\frac{1}{q}-\frac{1}{Q}}{\frac{1}{q}}=\frac{1}{P} \; \ldots\ldots \; \text{(Gl. 23).}$$

Wenn eine konstante freie Energie gleichzeitig zwei verschiedene Arbeiten ausführen soll, so werden diese jede für sich eine Verminderung erleiden, deren relative Größe gleich dem Bruchteile der Energie ist, der tatsächlich zur anderen gleichzeitigen Arbeit verbraucht wird.

Dieser Satz ist eine einfache Konsequenz des zweiten Hauptsatzes der Energetik. Wird zu einer Arbeit $\frac{1}{p}$ der freien Energie verbraucht, so ist (vgl. Gl. 2):

$$\frac{E-e}{E}=\frac{1}{p}=\frac{H-h}{H} \; \ldots\ldots\ldots \; \text{(Gl. 24).}$$

Wird nun gleichzeitig eine andere Arbeit geleistet, die tatsächlich $\frac{1}{Q}$ der Energie verbraucht, so ist noch übrig $1-\frac{1}{Q}=\frac{Q-1}{Q}$. In Gleich. 24 bedeutet indes $H-h$ die freie Energie; wird diese um $\frac{Q-1}{Q}$ vermindert, kann die erste Arbeit nur $\frac{1}{P}$ verbrauchen, wo:

$$\frac{1}{P}=\frac{Q-1}{Q}\cdot\frac{H-h}{H}.$$

Die relative Verminderung des ursprünglichen Verbrauches $\frac{1}{p}$ ist mithin:

$$\frac{\frac{1}{p}-\frac{1}{P}}{\frac{1}{p}}=\frac{\frac{H-h}{H}-\frac{Q-1}{Q}\cdot\frac{H-h}{H}}{\frac{H-h}{H}}=\frac{1}{Q}.$$

Wir werden im folgenden (dritten Buch) eine ganze Reihe Tatsachen kennen lernen, die einfach diesem Gesetze unterliegen. Die Verhältnisse sind indes gewöhnlich komplizierter, als wir sie hier vorausgesetzt haben. Einerseits wird es häufig vorkommen können, daß nicht zwei, sondern mehrere Arbeiten sich gegenseitig hemmen; andererseits kann die Hemmung unvollständig werden, indem bei jeder neuen Arbeit zum Teil Neurone, die außerhalb der gemeinsamen Strecke liegen, in

Tätigkeit treten, so daß die verfügbare Energie mit der Anzahl der Arbeiten wächst und mithin nicht konstant ist (vgl. Fig. 27). Selbstverständlich läßt sich die Hemmung auch in solchen Fällen berechnen, wenn bestimmte Verhältnisse vorausgesetzt werden; diese Verhältnisse sind aber je nach dem Bau und der Funktion der betreffenden Organe festzustellen. Es hat daher keinen Zweck, hier eine theoretische Entwicklung zu geben, die auf Voraussetzungen ruht, deren Notwendigkeit sich erst später nachweisen läßt. Ich knüpfe daher hier nur einige allgemeine Bemerkungen an die Gleich. 23 an, um die Bedeutung und Anwendung derselben näher auseinanderzusetzen.

Ob $\frac{1}{Q}$ der Gleich. 23 zu einer Arbeit oder zu mehreren verschiedenen Arbeiten angewandt wird, ist selbstverständlich ohne Bedeutung. Werden also mehrere Arbeiten, die tatsächlich $\frac{1}{Q}$, $\frac{1}{R}$, $\frac{1}{S}$ usw. verbrauchen, gleichzeitig ausgeführt, so nimmt Gleich. 23 die allgemeinere Form an:

$$\frac{\frac{1}{p} - \frac{1}{P}}{\frac{1}{p}} = \frac{1}{Q} + \frac{1}{R} + \frac{1}{S} + \dots$$

$$\text{oder } \frac{1}{P} = \frac{1}{p}\left[1 - \left(\frac{1}{Q} + \frac{1}{R} + \frac{1}{S} + \dots\right)\right] \quad . \text{ (Gl. 25)}$$

und für jede der betreffenden Größen $\frac{1}{Q}$, $\frac{1}{R}$ usw. erhält man eine analoge Gleichung. Nehmen wir den einfachen Fall an, daß gleichzeitig n gleichgroße Arbeiten verrichtet werden; man hat dann $\frac{1}{Q} = \frac{1}{R} = \frac{1}{S} = \dots = \frac{1}{P}$, und Gleich. 25 geht in die folgende Form über:

$$\frac{1}{P} = \frac{1}{p}\left(1 - \frac{n-1}{P}\right),$$

woraus sich ergibt:

$$\frac{1}{P} = \frac{1}{p} \cdot \frac{1}{1 + (n-1)\frac{1}{p}} \quad \dots\dots\dots \text{ (Gl. 26).}$$

Aus Gleich. 26 läßt sich der Energieverbrauch während der Zeit t nicht einfach durch Multiplikation mit $n \cdot t$ berechnen. Die Größen $\frac{1}{p}$ und $\frac{1}{P}$ sind keine Energiemengen, sondern nur Intensitäten, und je nach der Dimension des Intensitätenfaktors

wird die Energie eine gewisse Potenz dieser Größen. Die Dimension der Intensität einer zentralen Erregung kennen wir natürlich nicht. Wenn aber die zu leistenden Arbeiten konstanter Intensität sind und nur der Anzahl nach variieren, so wird die ganze während der Zeit t geleistete Arbeit A:

$$A = c \cdot \frac{1}{p} \cdot \frac{n \cdot t}{1 + (n - 1)\frac{1}{p}} \quad \text{(Gl. 27)},$$

wo c eine Konstante ist, die so zu bestimmen wird, daß $\frac{c}{p}$ für $n = 1$ der in der Zeiteinheit geleisteten Arbeit entspricht. Wir werden für diese Formel in Kap. 64 Verwendung finden.

Die Bahnung. Es wurde oben angenommen, daß die verschiedenen Neurone derselben Schicht keineswegs alle gleich erregbar sind. Die sich von einem Empfangsneurone fortpflanzende Erregung wird daher in den verschiedenen Neuronen Bewegungen sehr verschiedener Stärke auslösen; während einige erregt werden, erhalten andere Neurone nur einen minimalen Anstoß, ohne übrigens in Tätigkeit zu treten. Pflanzt sich nun aber von einem anderen Empfangsneurone eine Erregung fort, die den erwähnten Neuronen einen neuen Anstoß geben, so kann durch Summation dieser beiden Anstöße die Neurone erregt werden. Daß wirklich minimale Impulse, die an und für sich keine Wirkung hervorbringen, dennoch eine folgende Erregung fördern können, ist ja direkt bei den Reflexbewegungen nachweisbar (S. 126). Auf diese Weise wird es also verständlich, wie eine Erregung eine folgende innerhalb der gemeinsamen Strecke anbahnen kann. Aller Wahrscheinlichkeit nach spielen aber hierbei die (S. 154) erwähnten interzellulären Energieströme eine recht wesentliche Rolle. Es sei das Neuron a (Fig. 27) vom Neuron *1* aus in Tätigkeit versetzt worden. Hierdurch kann zwar das mit a verbundene Neuron b nicht erregt werden; das Potentialgefälle zwischen b und a wird aber in b einen lebhafteren Stoffwechsel hervorbringen. Durch die Tätigkeit des a ist das Gleichgewicht des b schon gestört; b hat einen Anstoß erhalten, sein Inertiewiderstand ist geringer geworden, so daß eine relativ geringe Erregung genügt, um es in Tätigkeit zu versetzen. Diese indirekte Beeinflussung verschiedener Neurone, die, wie ersichtlich, sehr wohl außerhalb der gemeinsamen Strecke liegen können, hat also augenscheinlich denselben Erfolg wie die direkte, aber unterschwellige Erregung einiger Neurone inner-

halb der gemeinsamen Strecke: sie tragen alle beide dazu bei, daß eine Erregung auf eine andere bahnend einwirkt. Haben die beiden Erregungen eine gemeinsame Strecke, und bestehen sie gleichzeitig nebeneinander, so wird die Bahnung unmerklich, indem die gleichzeitige Hemmung eine viel stärkere Herabsetzung bewirkt. Hört aber die eine Erregung kurz vor dem Eintreten der anderen auf, so befinden sich zahlreiche Neurone in einem Zustand, wo geringe Anstöße genügen, um sie in Tätigkeit zu versetzen, und die letztere Erregung wird daher eine größere Stärke erreichen, als sie ohne das Vorausgehen der ersteren erhalten würde. Wir können also den Satz aufstellen:

Haben zwei Erregungen eine gemeinsame Strecke, so daß sie sich gegenseitig hemmen, wenn sie gleichzeitig sind, so bahnt die eine die andere an, wenn sie ihr vorausgeht; die zuzweit eintretende wird dann eine größere Stärke erreichen, als sie ohne das Vorausgehen der ersten erhalten würde.

Ein Spezialfall dieses Satzes hat schon oben bei der Darstellung der Gesetze der Reflexbewegungen Erwähnung gefunden (S. 127).

Die Bahnung ist zweifelsohne eine äußerst bedeutungsvolle Erscheinung, die sich auf allen psychophysiologischen Gebieten geltend macht und sehr verschiedene Wirkungen haben kann. Da es sich hierbei wohl hauptsächlich um die zeitlichen Verhältnisse der sich beeinflussenden Erregungen handelt, können wir, ohne späteren Auseinandersetzungen vorzugreifen, die wesentlichsten dieser Wirkungen hier behandeln.

Der oben angeführte Satz, daß eine Erregung von einer vorausgehenden angebahnt wird, wenn die beiden eine gemeinsame Strecke haben, gibt nur die allgemeine Tatsache an und besagt nichts von der Stärke dieser Bahnung, von der Größe des Bahnungszuwachses, die vom Intervall zwischen den beiden Erregungen abhängig sein muß. Dies sieht man leicht ein. Gehen wir der Einfachheit halber davon aus, daß die Erregungen durch äußerst kurz dauernde Reize hervorgerufen werden. Verhielte es sich nun so, daß die erste Erregung sofort mit der Reizung aufhörte, so würde der Bahnungszuwachs, den die erste Erregung der zweiten gibt, zweifellos unmittelbar beim Aufhören der ersten Erregung am größten sein und mit wachsendem Intervalle zwischen den beiden Erregungen abnehmen. Die Bahnung würde nämlich dann selbst

recht bald mit der sie verursachenden Erregung erlöschen und mithin die später eintretende Erregung immer weniger beeinflussen können. Ein solches momentanes Aufhören einer Nerventätigkeit kommt aber selten oder nie vor; fast immer klingt der Vorgang ab, indem er anfangs schnell, dann immer langsamer an Stärke abnimmt. Wenn daher die beiden Reize schnell aufeinanderfolgen, so ist die Erregung *1* noch relativ stark, wenn die Erregung *2* einsetzt, und die letztere wird daher noch zum Teil gehemmt, so daß der Bahnungszuwachs sich nur wenig geltend machen kann. Mit wachsendem Intervalle zwischen den Reizen wird die Erregung *1* in dem Momente, wo die Erregung *2* einsetzt, immer schwächer werden, so daß die Hemmung fortwährend abnimmt. Die Bahnung nimmt aber nicht so schnell ab, weil die Fortpflanzung einer Erregung durch die graue Substanz recht langsam vor sich geht; die bahnende Wirkung in irgendeinem Punkte kann daher sehr wohl ihr Maximum erreichen, wenn die sie verursachende Erregung schon beträchtlich an Stärke abgenommen hat. Der Bahnungszuwachs wächst also zweifellos mit wachsendem Intervall bis zu einem Maximum. Wird das Intervall noch größer, so erlöscht nach und nach die bahnende Wirkung, und der Bahnungszuwachs sinkt bis auf Null herab. Diese Betrachtung führt also zu dem Satze:

Der Bahnungszuwachs ist eine Funktion von dem Zeitintervall zwischen den beiden Reizen. Er wächst anfangs schnell mit wachsendem Intervall, um dann bei noch größeren Intervallen bis auf Null herabzusinken.

Auf verschiedenen Sinnesgebieten läßt sich die Größe des Bahnungszuwachses bestimmen. Das Ergebnis einer Reihe solcher Messungen ist in Fig. 64 als Funktion von der Dauer des Intervalls graphisch dargestellt und entspricht, wie ersichtlich, völlig dem obigen Satze.

Da die Bahnung, der dargestellten Auffassung zufolge, einfach eine sich fortpflanzende Erregung ist, so ist anzunehmen, daß der Bahnungszuwachs der Stärke der bahnenden Erregung E proportional wächst. Bezeichnen wir mit N_t den Bahnungszuwachs nach einem Intervall von t Sekunden, so wird:

$$N_t = v \cdot E \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad \text{(Gl. 28)},$$

wo v eine Funktion von der Zeit t, also bei konstanter t konstant ist. Durch diese Bestimmung ist indes nicht viel gewonnen, da wir wohl nie E direkt messen können. Wenn es sich aber um Erregungen der Sinnesorgane handelt, die

durch äußere Reize hervorgerufen werden, und deren Stärke von dem Reize abhängig ist, so wird es möglich, den „Reizwert des Bahnungszuwachses" zu bestimmen. Es seien die bahnende Erregung durch den Reiz R, die gebahnte durch den Reiz r hervorgerufen, und nehmen wir an, daß die durch R und r ausgelösten Empfindungen gleich stark sind. Man hat dann erfahrungsmäßig immer $r < R$, und die Differenz $R - r = R_t$ ist der Reizwert des Bahnungszuwachses. Schreiben wir nämlich diese Gleichung: $R = r + R_t$, so ersieht man, daß r, um den Wert R_t vergrößert, ohne Bahnung dieselbe Erregung hervorrufen würde wie r, wenn es vom R angebahnt würde, oder mit andern Worten: R_t entspricht eben dem Bahnungszuwachse.

Mit großer Annäherung findet man:

$$R - r = R_t = u . R^v \quad \text{. . . . . (Gl. 29).}$$

Zur Gleich. 29 führt uns die folgende Betrachtung. Die vom R ausgelöste Erregung E ist, der Gleich. 12 zufolge:

$$E = c \cdot \log\left(1 + \frac{R}{\varkappa}\right)$$

Es ist mithin:

$$N_t = c \cdot \log\left(1 + \frac{R}{\varkappa}\right)^v$$

Da aber v sehr klein sein muß, kann man mit ausreichender Genauigkeit setzen:

$$N_t = c \cdot \log\left(1 + \left[\frac{R}{\varkappa}\right]^v\right) = c \cdot \log\left(1 + \frac{u \cdot R^v}{\varkappa}\right) \text{ indem } \frac{1}{\varkappa^{v-1}} = u.$$

N_t verhält sich also, als ob es von einem Reize $u \cdot R^v$ hervorgerufen wäre. Es sei nun e die angebahnte Erregung, die durch den Reiz r ausgelöst wird. Man hat dann $e + N_t = E$, weil die die beiden Erregungen begleitenden Empfindungen gleich stark sind, und folglich ist:

$$e + N_t = c \cdot \log\left(1 + \frac{r + u \cdot R^v}{\varkappa}\right) = E = c \cdot \log\left(1 + \frac{R}{\varkappa}\right)$$

woraus folgt:

$$r + u \cdot R^v = R \text{ oder } u \cdot R^v = R - r = R_t \quad \text{. . (Gl. 29).}$$

Wir werden später auf verschiedenen Sinnesgebieten die Gültigkeit der Gleich. 29 bestätigt finden.

Bisher haben wir nur die *progressive* Bahnung, die Wirkung, die die zuerst eingetretene Erregung auf die folgende ausübt, in Betracht gezogen. Unter gewissen Umständen muß aber auch eine *rekurrente* Bahnung merklich werden können, indem die zuzweit eintretende Erregung die zuerst gegebene verstärkt. Die Möglichkeit eines solchen Falles scheint dann vorzuliegen, wenn kurzdauernde Reize nicht zu schnell aufeinander folgen,

und die betreffenden Erregungen anfangs schnell, dann aber sehr langsam abklingen. Wie die Erregung 2 unter diesen Verhältnissen beeinflußt wird, wurde schon oben dargelegt; wir betrachten daher nur den ferneren Verlauf der Erregung 1. Diese wird sofort beim Eintreten der Erregung 2 stark gehemmt, gleichzeitig aber auch angebahnt, und diese Bahnung erreicht erst dann ihr Maximum, wenn die Stärke der Hemmung schon bedeutend abgenommen hat, indem die Erregung 2 abklingt. Ist also die Erregung 1 an dem Zeitpunkte, wo die rekurrente Bahnung ihr Maximum erreicht, nicht völlig erloschen, muß sie durch die Bahnung eine merkbare Verstärkung erfahren. Die rekurrente Bahnung muß aber bedeutend geringer als die progressive sein. Wird nämlich ein in Ruhe befindliches Zentrum B von einem anderen, A, aus angebahnt, so erhält mithin eine gewisse Anzahl Neurone des B einen Anstoß, der die folgende Erregung fördert. Ist B dagegen schon erregt, kann die von A ausgehende Bahnung nur eine relativ geringe Anzahl Neurone beeinflussen, indem mehrere derselben sich schon in Bewegung befinden. Alles übrige gleich wird die rekurrente also weniger als die progressive Bahnung die Erregung eines Zentrums fördern können.

Wiederholung der Bahnungen. Der Bahnungszuwachs ist, wie erwähnt, eine Funktion von der Zeit; bei konstantem Intervalle ist er nur von dem Leitungswiderstand der betreffenden Bahnen abhängig. Dieser Widerstand bestimmter Leitungsbahnen wird aber keineswegs immer konstant sein. Wie schon (S. 138) hervorgehoben, kann es keinem Zweifel unterliegen, daß eine Neuronengruppe, so wie jedes andere Organ, durch Wiederholung einer bestimmten Tätigkeit sich derselben immer mehr anpaßt. Diese Anpassung besteht nun zunächst darin, daß die Neurone immer leichter in Tätigkeit versetzt werden, indem einerseits der Leitungswiderstand geringer und damit sowohl der Bahnungszuwachs als die Fortpflanzungsgeschwindigkeit größer werden, und andererseits die Energie der Nervenzellen durch diese bestimmte Erregung leichter umgewandelt wird. Durch diese Veränderungen läßt sich die tatsächlich beobachtete Wirkung von der Einübung gewisser Leistungen, der Präzisionsarbeiten (S. 91), leicht erklären. Wenn nämlich die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Erregung mit abnehmendem Widerstand der Bahnen wächst, so bekundet sich die Einübung zunächst dadurch, daß die Tätigkeit schneller ausgeführt werden kann. Außerdem wird die Leistung genauer,

indem die erhöhte Fahrbarkeit der Bahnen zur Folge hat, daß nur die betreffenden und keine anderen Neurone in Tätigkeit versetzt werden, d. h. Nebenarbeiten, Mitbewegungen werden vermieden.

Eine fernere bedeutungsvolle Konsequenz von der Verstärkung der Bahnung durch Wiederholung der Erregungen ist die Verknüpfung gleichzeitiger oder sukzessiver Erregungen. Um das Zustandekommen einer solchen Verknüpfung zu verstehen, betrachten wir wieder die Fig. 27, die in der Fig. 27 A in vereinfachter Form wiedergegeben ist. Zwei periphere Ganglien, *1* und *2*, die z. B. in verschiedenen Sinnesorganen liegen können, sind mit ihren respektiven Sinnessphären, S_1 und S_2, und diese wiederum mit den sekundären Zentren A_1 und A_2, resp. A_2 und A_3, verbunden. Außer den in zentripetaler Richtung leitenden Bahnen kommen auch Leitungsbahnen zwischen S_1 und S_2 und ebenfalls zwischen A_1, A_2 und A_3 vor. Da die Neurone die Erregung nur in einer Richtung fortpflanzen können, sind die einander nebengeordneten Zentren, S_1 und S_2 sowie A_1, A_2 und A_3, mit zahlreichen Nervenleitungen verbunden, von denen einige nur in der einen, andere nur in der anderen Richtung die Erregung fortpflanzen, wie es die Pfeile angeben. Diese Leitungsbahnen gehen natürlich von verschiedenen Neuronen der einzelnen Zentren aus, so wie es in Fig. 27 angedeutet ist. Wird also z. B. A_1 erregt, so kann sich die Erregung durch die Bahnen $A_1 — A_2$ fortpflanzen; gleichzeitig kommt aber der oben (S. 154) erwähnte interzelluläre Energiestrom zustande, der durch die Leitungsbahnen $A_2 — A_1$ geht. Wird umgekehrt A_2 erregt, pflanzt sich die Erregung durch die Leitungsbahnen $A_2 — A_1$ fort, der Energiestrom geht aber durch die Bahnen $A_1 — A_2$. Werden also zwei solche Neuronengruppen nach einander in Tätigkeit gesetzt, so werden die sie verbindenden Leitungsbahnen in beiden Richtungen tätig: ein Mal handelt es sich aber um eine Fortpflanzung der Erregung, ein anderes Mal um einen interzellulären Energiestrom. Nehmen wir aber an, daß diese beiden verschiedenartigen Veränderungen der Leitungsbahnen eine Herabsetzung des Leitungswiderstandes

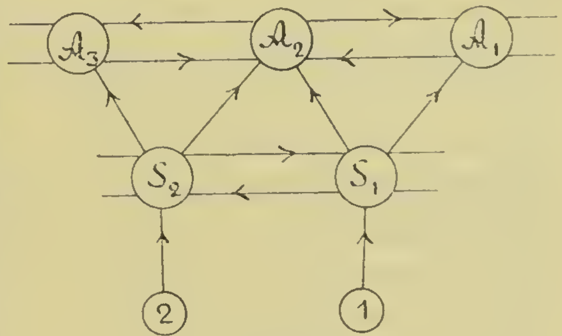


Fig. 27 A.

zur Folge haben, so werden also die Bahnen dadurch fahrbarer, daß die Zentren, die sie verbinden, nach einander erregt werden. Alle anderen, von A_1 und A_2 ausgehenden Bahnen werden dagegen, durch die Erregung von A_1 und A_2, nur in einer Richtung befahren und mithin nicht so stark ausgeschliffen. Durch Wiederholung der Erregungen des A_1 und A_2 kann der Widerstand der Bahnen auf diese Weise auf ein Minimum herabgesetzt werden, und da die Erregung sich hauptsächlich in der Richtung des kleinsten Widerstandes fortpflanzt, so wird also zuletzt eine Erregung von A_1 oder A_2 fast ausschließlich durch die Bahnen $A_1 — A_2$, resp. $A_2 — A_1$, in sehr geringem Maße dagegen in anderen Richtungen entladen.

Was hier beispielsweise von den Neuronengruppen A_1 und A_2 dargestellt ist, gilt natürlich auch für alle analogen Fälle. Werden die peripheren Ganglien *1* und *2* häufig gereizt, so werden dadurch die Sinnessphären S_1 und S_2, und von hier aus wieder die sekundären Zentren A_1, A_2 und A_3 erregt. Da A_2 sowohl von S_2 als von S_1 aus erregt wird (Fig. 27 A), haben die beiden Erregungen somit hier eine gemeinsame Strecke, wo sie sich teilweise hemmen, und hier entsteht wahrscheinlich der kompliziertere Vorgang, den wir oben (S. 138) als eine Synthese der verschiedenen Sinneserregungen bezeichneten. Durch eine häufige gleichzeitige oder aufeinanderfolgende Reizung der Ganglien *1* und *2* werden die Leitungsbahnen zwischen den verschiedenen erregten Zentren, $S_1 — S_2$, $S_2 — S_1$, $A_1 — A_2$ usw., immer fahrbarer, und zugleich passen sich die Neurone den Tätigkeiten immer mehr an, in welche sie durch die Reizung der peripheren Ganglien versetzt werden. Schließlich wird ein Zustand erreicht, wo die Reizung, z. B. die des Ganglions *1*, genügt, um die in S_1, A_1 und A_2 hervorgerufene Bewegung bis zu S_2 und A_3 fortzupflanzen, so daß einige Neurone dieser Zentren erregt werden und in der Weise funktionieren, wie sie es sonst nur durch Reizung des Ganglions *2* täten. Es sind dann die beiden zentralen Vorgänge so miteinander verknüpft, daß der eine nicht zustande kommen kann, ohne daß der andere auch mehr oder weniger stark ausgelöst wird.

Betrachten wir jetzt den Fall, wo eine Reihe sukzessiver, in demselben Zentrum verlaufender Erregungen, A, B, C, ... N, mehrmals in der nämlichen Reihenfolge wiederholt wird. Jeder der Vorgänge, A, B, C, ... wird dann immer leichter zustande kommen, und gleichzeitig wachsen sowohl die progressive als die rekurrente Bahnung zwischen den einzelnen

Erregungen. Diese Bahnungen finden, wie leicht ersichtlich, nicht nur zwischen den unmittelbar aufeinanderfolgenden Vorgängen, *A* — *B*, *B* — *C*, *C* — *D* usw., sondern auch zwischen allen Gliedern der Reihe statt. Jedes Glied bahnt die folgenden an und wird selbst von diesen angebahnt. Die Stärke der Bahnung muß aber am größten zwischen den unmittelbar aufeinander folgenden Vorgängen sein und mit wachsendem Intervalle stark abnehmen. Die z. B. von *A* ausgehenden Bahnungen werden nämlich bedeutend an Stärke abnehmen in dem Momente, wo *B* erregt wird und mithin *A* hemmt. Wenn später *C* eintritt, kann dieser Vorgang nicht so stark wie *B* von *A* aus angebahnt sein, eben weil *A* von *B* gehemmt wurde, und noch geringer werden die Bahnungen der folgenden Vorgänge, *D*, *E* usw., da der bahnende Vorgang *A* unterdessen von *B*, *C*, *D*, . . . gehemmt wird und außerdem nach und nach abklingt. Die Wirkung der Bahnung nimmt also mit wachsender Entfernung der sich beeinflussenden Vorgänge stark ab, so daß sie bei einer gewissen Größe des Intervalles unmerklich wird.

Die Vorgänge *A*, *B*, *C*, ... *N* bahnen indes auch zahlreiche andere an, da aber die so beeinflußten Neurone nicht in Tätigkeit treten, weil denselben eine fernere Erregung fehlt, so unterliegen also, wie schon oben erwähnt, nur die Vorgänge *A*, *B*, *C*, ... *N* der Wirkung der Übung. Wenn diese Wirkung eine gewisse Größe erreicht hat, können sowohl die Erregbarkeit der Neurone als der Bahnungszuwachs so groß geworden sein, daß die Bahnung von *A* aus, ohne fernere Erregung, genügt, um *B* auszulösen, während *B* wiederum auf dieselbe Weise *C* auslöst u. s. f.: *Durch eine genügende Anzahl Wiederholungen bestimmter Erregungen in derselben Reihenfolge wird schließlich ein solcher Zustand erhöhter Erregbarkeit der betreffenden Neurone erreicht, daß das Entstehen eines Gliedes der Reihe ausreicht, um sämtliche folgende Erregungen nach und nach auszulösen.*

Daß eine solche Verknüpfung verschiedener Gehirnvorgänge, die anfangs nichts miteinander zu tun haben und nur zeitlich neben- oder nacheinander gegeben sind, tatsächlich stattfindet, soll im folgenden (Kap. 57, 68, 69) eingehend erörtert werden. Die sogenannte Assoziation von Vorstellungen und Einübung motorischer Reaktionen sind Beispiele derartiger Verknüpfungen. Der obigen Darstellung gemäß brauchen wir also gar nicht, wie schon S. 139 erwähnt, besondere mnetische

Zentren anzunehmen. Die Einübung bestimmter Gehirnvorgänge genügt völlig, um den für das Gedächtnis charakteristischen Zustand hervorzubringen, wo eine gewisse Erregung eine ganze Reihe anderer Vorgänge auszulösen vermag.

Da durch die Wiederholung nicht nur die progressive, sondern auch die rekurrente Bahnung verstärkt wird, so wird die Auslösung der sukzessiven Erregungen sowohl in der gegebenen Reihenfolge *A*, *B*, *C*, ... *N* als in der umgekehrten Richtung *N*, ... *C*, *B*, *A* erleichtert. Da die rekurrente Bahnung aber, wie wir oben sahen, schwächer als die progressive sein muß, so wird die Verknüpfung der Vorgänge in der umgekehrten Reihenfolge ebenfalls weniger stark. Die Erfahrung bestätigt diese Konsequenz der Theorie; ist eine Reihe Vorgänge in der einen Richtung eingeübt, läßt sich die Reihenfolge relativ leicht umkehren; die Verknüpfung in der letzteren Richtung ist aber bei weitem nicht so fest wie in der ersteren.

Haben die sukzessiven Vorgänge *A*, *B*, *C*, ... *L*, *M*, *N* gemeinsame Strecken, so daß sie sich auch gegenseitig hemmen, so sind die beiden Endglieder der Reihe, *A* und *N*, relativ günstig gestellt. *A* wird von keiner vorausgehenden Erregung gehemmt und bahnt daher, im Zeitintervalle *A* bis *B*, die folgenden Vorgänge *B*, *C*, ... mit seiner vollen Stärke an. Dadurch wird *B* relativ mehr als die folgenden Vorgänge verstärkt und bahnt seinerseits *C* stärker an, als *C D* anbahnen kann. Die Wirkung der Bahnung muß sich also am Anfang der Reihe stärker kundtun als in der Mitte. Etwas Ähnliches findet am Schluß der Reihe statt. Hier wird *N* von keinem folgenden Vorgang gehemmt und bahnt mithin rekurrent *M*, *L*, . . . relativ stark an, wodurch sie also mehr als die vorhergehenden Glieder gehoben werden. Die Verknüpfung der Glieder einer solchen Reihe schreitet also nicht gleichmäßig fort; sie wird in der Mitte schwächer und langsamer zustande kommen als an den beiden Enden. Wir werden später sehen, wie auch diese Konsequenz der Theorie von der Erfahrung bestätigt wird.

Auf die verschiedenen Erscheinungen, die die Bahnung unter speziellen Umständen hervorrufen kann, gehen wir hier nicht näher ein, um späteren Auseinandersetzungen nicht vorgreifen zu müssen.

Zweites Buch.
Die Psychophysik.

Einleitung.

Einundzwanzigstes Kapitel.
Analyse psychischer Erscheinungen.

Die Psychophysik ist die Lehre von den Beziehungen zwischen Seele und Leib, zwischen den Bewußtseinszuständen und den physischen und physiologischen Verhältnissen, mit welchen sie einhergehen[1]. Damit aber diese Beziehungen dargelegt werden können, muß eine andere Aufgabe vorher gelöst werden. Wie schon früher (S. 12) hervorgehoben, treten die Bewußtseinserscheinungen fast immer massenhaft auf. Ein Blick auf die Straße gibt uns eine überwältigende Menge Bilder von Häusern, Menschen, Tieren, Wagen usw., und gleichzeitig hören wir einen Lärm, der von den Fußtritten und Stimmen der Gehenden, dem Bellen der Hunde, dem Rollen der Wagen, dem Sausen des Windes usw. hervorgebracht wird. In diesem und in ähnlichen Fällen sind uns also äußerst komplizierte Bewußtseinszustände gegeben, und es würde entschieden eine unlösbare Aufgabe sein, die Beziehungen zwischen solchen psychischen Komplexen und ihren äußeren Ursachen festzustellen. Die Aufgabe muß daher vereinfacht werden, indem der zusammengesetzte Bewußtseinsinhalt zuvörderst in

[1] Das Wort Psychophysik wurde erst von *Fechner* in seinem „Elemente der Psychophysik" angewendet. Unter Psychophysik versteht er „die exakte Lehre von den Beziehungen zwischen Leib und Seele". Da die Grenzen zwischen quantitativen und qualitativen Beziehungen recht fließend sind, habe ich dem Worte hier einen weiteren Sinn gegeben.

Teile zerlegt wird, die sich einzeln untersuchen lassen. Eine solche Zerlegung, *Analyse*, unserer komplizierten Bewußtseinszustände kommt schon teilweise durch die täglichen Erlebnisse zustande. Indem uns nämlich häufig bestimmte Gruppen von Bewußtseinserscheinungen in verschiedenen Verbindungen gegeben sind, treten diese Gruppen als etwas Zusammengehöriges und, im Vergleich mit den wechselnden Nebenerscheinungen, als etwas relativ Selbständiges hervor. Und da sie ferner in mannigfachen Verbindungen vorkommen können, sind sie auch etwas relativ Einfaches.

Es gibt zwei Arten solcher relativ einfachen psychischen Gebilde, nämlich die *Wahrnehmungen* von den Dingen der Außenwelt und die *Gemütsbewegungen.* Die ersteren werden von den Sinnesorganen vermittelt, und sie verschwinden, wenn die betreffenden Organe sich vor den äußeren Reizen verschließen. Aus diesem Umstande folgert man, daß die Wahrnehmungen von äußeren Ursachen herrühren, und diese Ursachen müssen relativ unveränderlich sein, weil eine bestimmte Wahrnehmung in sehr verschiedenen Verbindungen vorkommen kann. Diese konstanten Ursachen der Wahrnehmungen nennt man die *Dinge*, die *Gegenstände.* Die Wahrnehmungen beziehen sich mithin stets auf Gegenstände; die Psychologie des Alltagslebens macht überhaupt keinen Unterschied zwischen den Dingen und unsern Wahrnehmungen der Dinge. Wie die Wahrnehmungen sind auch die Gemütsbewegungen relativ konstante Erscheinungen, was einfach aus der Tatsache hervorgeht, daß die Sprache eine ganze Reihe Namen solcher Gebilde hat. Schreck, Verwunderung, Erstaunen, Spannung, Hoffnung, Furcht, Zorn, Scham, Ärger, Freude, Kummer, Wehmut, Schadenfreude, Mitleid, Neid, Dankbarkeit, Achtung, Bewunderung, Reue usw. sind Beispiele solcher Zustände, die jedermann aus eigener Erfahrung kennt und zu benennen weiß. Von den Wahrnehmungen unterscheiden sich die Gemütsbewegungen zuvörderst dadurch, daß sie sich nicht auf Dinge beziehen. Zwar werden sie meistens durch Wahrnehmungen erregt, gehen mit diesen einher; sie verschwinden aber selten mit den erregenden Wahrnehmungen, können vielmehr lange nach dem Verschwinden der letzteren andauern. Hierzu kommt noch, daß eine bestimmte Gemütsbewegung von recht verschiedenen Wahrnehmungen erregt werden kann; sie zeigt sich somit in mehreren Beziehungen als von den Dingen unabhängig.

Die Abgrenzung verschiedener Dinge und Gemütsbewegungen ist also das Ergebnis von einer Zerlegung psychischer Komplexe, die durch die täglichen Erlebnisse fast von selbst zustande kommt. Von der Psychologie wird diese Zerlegung absichtlich weitergeführt, um die Elemente, die möglichst einfachen Erscheinungen des Bewußtseins, nachzuweisen. Zerlegungen, Analysen, kommen zwar auch in den Naturwissenschaften vor; es sind aber hier stets die Gegenstände, die zerlegt werden, damit neue Wahrnehmungen von den Gegenständen gewonnen werden können. Der Psychologe aber analysiert einfach die gegebenen Wahrnehmungen und sonstigen Bewußtseinsinhalte, um ihre Elemente zu suchen. Das hierbei zu verwendende Verfahren ist genau dasselbe, das unabsichtlich zur Abgrenzung der verschiedenen Dinge und Gemütsbewegungen geführt hat. Läßt sich irgend eine psychische Erscheinung A in verschiedenen Zuständen nachweisen, so sind diese Zustände augenscheinlich zusammengesetzt, indem A als ein Teil derselben zu betrachten ist. Hat dann wiederum A mit anderen Zuständen etwas Gemeinsames, z. B. a. so ist A selbst zusammengesetzt, läßt sich etwa in a, b, c usw. zerlegen. Kommen diese letzteren Erscheinungen stets nur vollständig und nie teilweise vor, so können sie mithin nicht weiter zerlegt werden. *Psychische Erscheinungen, die sich nicht analysieren, in einfachere Teile trennen lassen, nennen wir psychische Elemente.*

Wenn man auf die angegebene Weise verfährt — und es gibt keinen anderen Weg — so hat man, wie leicht ersichtlich, eigentlich keine Garantie dafür, daß die Ergebnisse der Analyse tatsächlich unteilbare Elemente sind. Daß gewisse Erscheinungen sich bisher als unzerlegbar erwiesen haben, schließt keineswegs die Möglichkeit aus, daß sie unter andern Umständen als zusammengesetzt hervortreten können. Die Resultate, bei denen man zu gegebener Zeit stehen bleibt, können mithin nur zeitweilige Bedeutung beanspruchen. Es gibt denn auch verschiedene Tatsachen, die es recht wahrscheinlich machen, daß unsere jetzigen psychischen Elemente zusammengesetzter Natur sind.

Es ist eine allgemeine Erfahrung, daß psychische Erscheinungen, die sich leicht unterscheiden lassen, wenn sie aufeinander folgen, als ein mehr oder weniger unzerlegbares Ganze auftreten, wenn sie gleichzeitig gegeben sind. Im ersteren Falle zerfällt der Komplex, wenn die Teile nur ge-

nügend verschieden sind, in eine Reihe sukzessiver Zustände, im letzteren dagegen tritt eine sogenannte *Verschmelzung* ein.

Eine scharfe Grenze zwischen gleichzeitigen und aufeinander folgenden Erscheinungen ist jedoch kaum zu ziehen. Wenn sehr kurz dauernde Erscheinungen schnell aufeinander folgen, und besonders wenn sie sich periodisch wiederholen, verschmelzen sie genau so wie gleichzeitige Zustände. Dauern die verschiedenen sukzessiven Reize nur genügend lange, so erregen sie verschiedene Empfindungen; sinkt die Dauer der Reize aber unter ein gewisses Minimum, entsteht nur eine einzelne Empfindung. Dies gilt z. B. sowohl von Lichtreizen als von Schallreizen. Der Kürze halber können wir im folgenden als gleichzeitige Erscheinungen auch solche sukzessiven, aber sehr kurz dauernden Zustände betrachten, die sich wie die gleichzeitigen verhalten.

Das Wort Verschmelzung bezeichnet indes keinen bestimmten Vorgang bekannter Natur; es werden im Gegenteil unter diesem Namen ganz verschiedenartige Phänomene zusammengefaßt, und mit der Benennung glaubt man dann, wie so oft in der Psychologie, eine Erklärung der Sache gegeben zu haben. Die als Verschmelzungen bezeichneten Erscheinungen haben nur das gemeinsam, daß *die Analyse gleichzeitiger Zustände mehr oder weniger erschwert ist*, während dieselben Zustände, wenn sie aufeinander folgen, leicht unterschieden werden können. Die Resultate der „Verschmelzung" können indes, je den Umständen nach, sehr verschiedene Formen annehmen, auf verschiedenen Stufen stehen, von welchen wir die wesentlichsten hier kurz betrachten.

1. Die gleichzeitigen Erscheinungen können ihre Selbständigkeit ganz und gar verlieren, so daß eine neue, von den Komponenten qualitativ verschiedene Erscheinung entsteht, die den Komponenten nicht einmal ähnlich ist. In diesem Falle ist eine Analyse schlechterdings unmöglich, da die Teilerscheinungen gar nicht vorhanden sind.

2. Die gleichzeitigen Erscheinungen verlieren zwar ihre Selbständigkeit, und es entsteht eine qualitativ neue Erscheinung, die aber den Komponenten mehr oder weniger ähnlich ist. Eine Art Analyse ist in diesem Falle, wegen der Ähnlichkeit mit der einen oder der anderen der Teilerscheinungen, teilweise möglich. Da die qualitativ neue Erscheinung aber nicht nur den Komponenten, sondern auch anderen Erscheinungen ähnlich sein kann, wird die Analyse sehr oft ein falsches Resultat ergeben und ist somit nur eine Pseudoanalyse.

Beispiele der verschiedenen Stufen von Verschmelzungen werden wir im folgenden auf den verschiedenen Sinnesgebieten finden; um

die Sache zu beleuchten, sollen hier nur einige charakteristische angeführt werden. Die beiden erwähnten Stufen können am besten gleichzeitig erläutert werden, da es sehr oft nur von der relativen Intensität der Komponenten abhängig sein wird, ob der erste oder der zweite Fall eintritt. Aus einem Gemisch von spektralen, roten und grünen Farbenstrahlen resultieren, je nach dem Mengenverhältnis der Komponenten, Rotgelb, Gelb oder Grüngelb. Reines Gelb hat keine Ähnlichkeit mit den Komponenten, dagegen sind, wie die Namen besagen, Rotgelb dem Rot, Grüngelb dem Grün ähnlich. Wegen dieser Ähnlichkeit werden gewöhnlich im ersteren Falle Rot, im letzteren Grün als Komponente vermutet, was zufällig richtig ist; die zweite Teilerscheinung, Gelb, kommt ja indes gar nicht vor. Analoge Verhältnisse finden sich auf dem Gebiete des Geruchssinnes. Komplizierte Mischungen können hier Resultate ergeben, die den Komponenten ganz unähnlich sind; so entsteht beispielsweise Veilchengeruch aus der Mischung von Akazie, Rosen, Iris florentina, Tuberose und Mandel. Einfachere Mischungen geben zwar auch neue Empfindungen, die jedoch gewöhnlich den Komponenten ähnlich sind, z. B. Mischungen von Vanillin und Brom [1]). Auch Töne können zu ganz neuen, unzerlegbaren Erscheinungen verschmelzen. Wenn ihre Höhendifferenz nur gering ist, und sie einigermaßen gleich stark sind, verschwinden die Komponenten vollständig, und es entsteht ein sogenannter Zwischenton, den das feinste musikalische Ohr nicht analysieren kann.

3. Als dritte Stufe der Verschmelzung haben wir den Fall, wo die Komponenten nebeneinander bestehen bleiben. Die Verschmelzung kann in diesem Falle mit verschiedener Stärke auftreten, indem der Komplex unmittelbar einen mehr oder weniger einheitlichen Eindruck machen kann. Da die Teilerscheinungen aber selbständig vorhanden sind, kann jede derselben unabhängig von den übrigen empfunden werden. Die Verschmelzungsgrade sind wohl zunächst von der Anzahl, dem Unterschiede und der relativen Stärke der Komponenten abhängig. Sind nur zwei sehr verschiedene Komponenten gegeben, deren Stärke bedeutend und ungefähr gleich groß ist, so kann die Verschmelzung so locker sein, daß ein *Wettstreit* der Teilerscheinungen eintritt, d. h. bald die eine, bald die andere Erscheinung hebt sich hervor.

4. Enthält ein Komplex mehrere Teilerscheinungen, können zwischen denselben Verschmelzungen verschiedener Stufen stattfinden; während einige Komponenten verschwinden und neue Qualitäten bilden, können andere lockere Verbindungen eingehen, wo die einzelnen Komponenten noch erhalten sind.

---

[1]) Nagel: Über Mischgerüche. Zeitschrift für Psychologie. Bd. 15, S. 94.

Auf diese Weise können sehr diffuse, verworrene Verschmelzungen entstehen.

Beispiele der dritten Verschmelzungsstufe findet man besonders auf den Gebieten der Ton- und Geschmacksempfindungen. Konsonante Töne bilden Komplexe, die die einzelnen Töne noch als Teilerscheinungen enthalten und mithin zerlegbar sind; diese Komplexe machen einen um so einheitlicheren Eindruck, je weniger Komponenten (aus den Primärtönen entstandene Differenztöne) sich darin finden. Dissonante Intervalle dagegen enthalten teils eine größere Anzahl Komponenten, teils Verschmelzungen erster Stufe (Zwischentonbildungen), wodurch der Eindruck sehr kompliziert wird. Schließlich kann unter den oben angegebenen Bedingungen auch ein Wettstreit der Empfindungen eintreten, wenn die Tonhöhe der Komponenten um mehrere Oktaven differieren. Ganz analoge Verschmelzungen bestehen zwischen Geschmacksempfindungen. Gleichzeitige reine Geschmacksempfindungen (süß, sauer, bitter, salzig) geben zumeist leicht analysierbare Komplexe; zuweilen entstehen jedoch auch neue, unzerlegbare Qualitäten. Sind die beiden Komponenten recht stark, so tritt leicht ein Wettstreit ein. Bei unseren gewöhnlichen, sehr zusammengesetzten „Geschmacksempfindungen", wo nicht nur eigentliche Geschmacksempfindungen, sondern auch Geruchs-, Druck- und Temperaturempfindungen gleichzeitig gegeben sind, wird die Analyse, teils durch die Komplikation, teils durch die unzerlegbaren Geruchsempfindungen, erschwert.

Die Ursachen der verschiedenen Verschmelzungsstufen werden sich im folgenden zeigen, wenn wir den Bau und die Wirkungsart der verschiedenen Sinnesorgane betrachten. Um die Sache zu erläutern, sollen aber schon hier kürzlich die Resultate hervorgehoben werden, die sich aus der folgenden Darstellung ergeben. Gleichzeitige Reizungen verschiedener Sinnesorgane geben, vielleicht mit einer einzigen Ausnahme, immer zerlegbare Komplexe; in diesem Falle werden aber, wie wir wissen, räumlich getrennte Sinnessphären erregt. Im Gegensatz hierzu geben gleichzeitige Reizungen derselben peripheren Nervenelemente eines Sinnesorgans immer neue, unzerlegbare Qualitäten. Von einer wirklichen Zerlegung kann nämlich, in den oben erwähnten Fällen, keine Rede sein, wo die neuen Qualitäten einer der Komponenten ähnlich sind, und daher eine, übrigens oft falsche Pseudoanalyse stattfindet. In diesem Falle, bei der Reizung derselben peripheren Nervenelemente, kann aber hauptsächlich nur dieselbe zentrale Neuronengruppe erregt werden. Es ist daher äußerst wahrscheinlich, daß aus gleichzeitigen Reizungen desselben Sinnesorgans nur dann zerlegbare psychische Komplexe resultieren, wenn räumlich getrennte, zentrale Vorgänge hervorgerufen

werden. Greifen die zentralen Vorgänge dagegen so ineinander ein, daß eigentlich nur ein einheitlicher, wenn auch komplizierter Vorgang abläuft, so ergibt sich ein unzerlegbarer psychischer Komplex (vgl. Kap. 77). Das die gleichzeitige Reizung zweier verschiedener, aber einander nahe liegender Sinnesorgane eine neue unzerlegbare Qualität ergibt, kommt nur in einem einzigen Falle vor, indem nämlich die Hitzeempfindung aus der gleichzeitigen Reizung naheliegender Kälte- und Wärmepunkte der Haut resultiert. Dieser Ausnahmefall läßt sich aber eben durch die Annahme erklären, daß die zentralen Sinnessphären einander sehr nahe liegen, so daß mitunter ein einheitlicher zentraler Vorgang entstehen kann (vgl. Kap. 38 und 41).

Gleichzeitige zentrale Erregungen können also, je den Umständen nach, entweder elementäre psychische Erscheinungen oder zerlegbare Komplexe ergeben. Im letzteren Falle kann die Analyse ferner, wie oben erwähnt, durch die Anzahl, die qualitativen und intensiven Unterschiede der Komponenten mehr oder weniger erschwert sein. Weil ein Komplex aber wirklich zerlegbar ist, indem die Komponenten selbständig existieren, ist es durchaus nicht sicher, daß die Analyse sich in jedem gegebenen Falle durchführen läßt. Nur wenn man durch innere oder äußere Veränderungen eine *teilweise* Veränderung des Komplexes hervorbringen kann, hat man darüber Gewißheit, daß ein Komplex wirklich vorliegt; eine einfache, nicht zusammengesetzte Erscheinung läßt sich nämlich nur vollständig, nie teilweise verändern. Wo es sich um experimentell erzeugte Komplexe handelt, kann eine solche teilweise Veränderung meistens leicht hervorgebracht werden. Anders stellt sich dagegen die Sache, wenn eine Erscheinung vorliegt, deren mutmaßlichen Komponenten im voraus gar nicht bekannt sind. Nur zufällig wird man dann die komplexe Natur der Erscheinung entdecken, indem irgend eine Teilerscheinung unter gewissen, zufällig zustande kommenden Bedingungen sich hervorhebt oder unterdrückt wird[1]).

Es ist also leicht verständlich, daß die komplexe Natur einer gegebenen psychischen Erscheinung unter ungünstigen Umständen äußerst schwierig zu konstatieren ist. Sind die unbekannten Komponenten sehr zahlreich und, mit Ausnahme

---

[1]) Buch: Über die Verschmelzung usw. Wundts Phil. Studien. Bd. 15, S. 49 und 57.

einer einzigen, durchweg sehr schwach, kann die Entdeckung dieser Komponenten lange auf sich warten lassen. Es ist daher sehr wahrscheinlich, daß die sogenannten psychischen Elemente gar nicht Elemente, sondern eben Komplexe sind. Wir können uns dieselben etwa so zusammengesetzt denken, daß zahlreiche Nebenerscheinungen sich um einen festen Kern scharen und jedenfalls in betreff der Stärke fortwährend Schwankungen unterworfen sind. Ihre Stärke wird wohl zumeist recht gering sein, und nur ausnahmsweise lodert bald diese, bald jene Erscheinung auf, so daß sie besonders bemerkt wird. Eine solche Annahme von der Konstitution der Elemente ist deshalb recht wahrscheinlich, weil sie viele, später zu besprechende Tatsachen unschwer erklärt; sie läßt sich aber, wie leicht verständlich, nicht direkt dartun. Wäre dies der Fall, so würde ja dadurch die Zerlegbarkeit der Elemente nachgewiesen sein, und dieselben würden folglich keine Elemente sein.

Unserer Definition zufolge ist ein psychisches Element eine Erscheinung, die sich durch Analyse nicht zerlegen läßt. Daraus folgt aber keineswegs, daß die Elemente auch isoliert vorkommen. Die Analyse zeigt uns dieselben gewöhnlich nur als Teile zusammengesetzter Zustände; *die Erfahrung allein kann darüber entscheiden, ob sie auch selbständig auftreten können*[1]). Die Tatsache, daß zahlreiche Elemente isoliert zu beobachten sind, berechtigt nicht im geringsten zu dem Schluß, daß es mit allen Elementen der Fall sei.

Zweiundzwanzigstes Kapitel.

Die psychischen Elemente.

Um die verschiedenen Arten psychischer Elemente festzustellen, gehen wir am besten von den beiden, obenerwähnten Arten einfacher psychischer Gebilde, von den Wahrnehmungen und den Gemütsbewegungen, aus.

Die Elemente einer Wahrnehmung nennt man *Empfindungen.* Indem der Gegenstand ein oder mehrere Sinnesorgane reizt, erregt jeder einfache Reiz eine besondere Empfindung, und diese Empfindungen bilden gemeinsam die Wahrnehmung, das sinnliche „Bild“ des Gegenstandes. Es soll gleich im

[1]) Holland: Wundts doctrine of psychical analysis. Amer. Journal of Psychology. 1905 und 1906.

folgenden unsere Aufgabe sein, die Beziehung zwischen den verschiedenen Empfindungen und den erregenden Reizen auseinander zu setzen.

Während eine Wahrnehmung stets einen Gegenstand als äußere Ursache voraussetzt und deshalb aufhört, wenn der Gegenstand entfernt oder die Sinnesorgane verschlossen werden, so gibt es eine andere Gruppe von Zuständen, die sich, wie die Wahrnehmungen, auf Gegenstände beziehen, sich aber dadurch von den Wahrnehmungen unterscheiden, daß sie ohne äußere Reizung von innen entstehen. Sie können daher meistens nach Belieben hervorgerufen und wieder zum Verschwinden gebracht werden. Diese Zustände nennen wir *Vorstellungen.* Häufig entspricht eine Vorstellung der Wahrnehmung desselben Gegenstandes, so daß die erstere fast als eine Kopie der letzteren, nur von geringerer Stärke und undeutlicher hervortritt; in diesem Falle nennt man die Vorstellung ein *Erinnerungsbild* des Gegenstandes. Liegt ein einigermaßen deutliches Erinnerungsbild vor, so beobachtet man leicht, daß es wie die Wahrnehmung von Empfindungen zusammengesetzt ist; diese Empfindungen sind aber dann ohne äußere Reizung entstanden, was indes von einem psychologischen Gesichtspunkte aus belanglos ist. Bei vielen Menschen sind die Vorstellungen jedenfalls sehr oft gar keine Erinnerungsbilder; sie entsprechen keineswegs den Wahrnehmungen. Während die Wahrnehmung z. B. ein Gesichtsbild ist, kann die Vorstellung Schall- oder Bewegungsbilder sein. Auch in diesem Falle sind die Elemente der Vorstellung Empfindungen, nur sind diese anderer Arten als die der Wahrnehmung. Die Vorstellungen enthalten somit keine neuen Arten von Elementen; sie sind wie die Wahrnehmungen von Empfindungen zusammengesetzt. Da die Wahrnehmung eines bestimmten Gegenstandes und die Vorstellung von demselben aber von ganz verschiedenen Empfindungen zusammengesetzt sein können, *wird die Vorstellung häufig kein Bild, sondern nur ein Symbol der Wahrnehmung.*

Die hier gegebene Darstellung nimmt eine mittlere Stellung zwischen den entgegengesetzten Auffassungen ein, die in *Wundt* und *Ebbinghaus* ihre bedeutendsten Repräsentanten haben. Indem Wundt Vorstellung mit Wahrnehmung identifiziert, hat er für die zentral erregte, reproduzierte Vorstellung nur das Wort Erinnerungsbild. Dies ist jedenfalls unpraktisch, weil die zentral erregte Vorstellung manchmal kein Erinnerungsbild, sondern nur ein Symbol ist. Ebbinghaus andererseits sieht die einfachen Vorstellungen als eine neue,

von den Empfindungen verschiedene Art psychischer Elemente an. Vom psychologischen Gesichtspunkte aus ist dies kaum berechtigt; die psychische Natur einer Empfindung ist von ihrer Entstehungsweise unabhängig. Meine obige Darstellung scheint mir hier das Richtige der beiden Auffassungen hervorzuheben.

In den Gemütsbewegungen begegnen uns zwei neue Elemente, die *Lust* und die *Unlust*, die mit dem gemeinsamen Namen: den *Gefühlselementen* (Gefühlstönen, emotionellen Elementen) bezeichnet werden. Sie kommen kaum je isoliert vor, sind dagegen immer mit Empfindungen, Wahrnehmungen oder Vorstellungen verknüpft. Jede Lust oder Unlust ist Lust oder Unlust an etwas. In den eigentlichen Gemütsbewegungen sind die Gefühlselemente meistens mit Vorstellungen oder ganzen Reihen von Vorstellungen verbunden, die von einer oft einfachen Wahrnehmung hervorgerufen werden. Gefühlselemente sind indes auch fast immer mit Wahrnehmungen oder einfachen Empfindungen verbunden; sie sind aber hier oft weniger hervortretend und werden daher leicht übersehen. Wenn die Gefühlselemente mehr in den Vordergrund treten, als es gewöhnlich bei den Wahrnehmungen der Fall ist, wird der Zustand ein *Gefühl* genannt. Eine scharfe Grenze zwischen den Gefühlen und den Gemütsbewegungen läßt sich aber nicht ziehen; es handelt sich hier hauptsächlich um einen Unterschied der Komplikation (vgl. Kap. 81).

Da Gefühle und Gemütsbewegungen oft zahlreiche Empfindungen und Vorstellungen enthalten, und jede derselben ihr Gefühlselement haben kann (vgl. jedoch Kap. 50), so ist es recht wahrscheinlich, daß der Unterschied all' dieser verschiedenen Zustände durch ihre eigentümliche Zusammensetzung von Empfindungen, Vorstellungen und Gefühlselementen entsteht. Die Möglichkeit ist jedoch nicht ausgeschlossen, daß außer der Lust und der Unlust noch andere Gefühlselemente vorkommen können, die, in verschiedenen Stärkeverhältnissen mit den ersteren verbunden, den Gefühlen ihren verschiedenen Charakter geben können. Wir werden später sehen, daß die Lust, die selbst einfache Empfindungen begleitet, nicht immer den nämlichen Charakter hat, sondern Modifikationen aufweist, die zwischen Gegensätzen wie erregend-deprimierend, heiter-ernst, beruhigend-beunruhigend u. a. schwanken. Ob solche Modifikationen des Gefühls durch die Annahme neuer Gefühlselemente oder nur durch einen komplizierteren, lust- oder unlustbetonten Vorstellungsinhalt zu erklären sind, läßt sich

nicht, wie man es versucht hat[1]), durch eine genaue Bestimmung der Unterschiede zwischen Empfindungen und Gefühlselementen entscheiden. Keine Definition, die man ja nach Belieben enger oder weiter machen kann, sondern nur die Selbstbeobachtung kann das Problem lösen. Wir kommen später auf diese Frage zurück (Kap. 47) und werden dann sehen, wie unsere obige Annahme, daß es nur die beiden erwähnten Arten von Gefühlselementen gibt, den bisher vorliegenden Tatsachen zweifellos am besten entspricht.

Wundt, der die Lehre von den verschiedenen Richtungen des Gefühls aufgestellt hat, nimmt drei solche Richtungen an: Lust-Unlust, Erregung-Depression, Spannung-Lösung[2]), und seiner Ansicht nach enthält jedes Gefühl Elemente aller drei Richtungen. Als Grenzfälle kommen dann auch Gefühle vor, die zwei verschiedenen oder nur einer einzigen Richtung angehören. Die Richtigkeit einer solchen Theorie scheint im Augenblicke recht unwahrscheinlich. Daß besonders Spannung-Lösung als Gefühl oder Gefühlsrichtung anzusehen sei, wird nur von wenigen Psychologen zugegeben; etwas ganz anderes ist es, daß die Spannung oder Erwartung bisweilen als Gemütsbewegung auftreten kann. In der Gefühlslehre Wundts kann ich höchstens das richtige finden, daß die Lust und Unlust unter Umständen einen wenig verschiedenen Charakter annehmen können.

Jedes psychische Element gegebener *Art* (Qualität) kann in verschiedenen Beziehungen Veränderungen unterliegen, ohne daß die Artseigentümlichkeiten dadurch variieren. Erstens kann jedes Element, ohne Ausnahme, mit verschiedener *Stärke* (Intensität) auftreten. Es ist oft behauptet worden, daß die Stärkeunterschiede eigentlich nur Artsunterschiede seien; indem wir aber erfahrungsgemäß gelernt haben, daß diese besonderen Artsunterschiede von der Stärke der Reize abhängig sind, fassen wir sie als Stärkeunterschiede auf. Eine solche Annahme mag richtig erscheinen, so lange es sich nur um die von äußeren Reizen abhängigen Empfindungen handelt; in diesen Fällen lehrt uns die Erfahrung unzweifelhaft, daß unsere Empfindungen bestimmten Veränderungen unterliegen, wenn die Stärke der Reize variiert wird. Die Erklärung kann aber nicht stichhaltig sein, wenn wir die zahlreichen, von inneren Reizen erregten Empfindungen berücksichtigen. Ein Zahnschmerz z. B. wird bald stärker, bald schwächer empfunden, ohne daß man je hat erfahren können, wie diese Veränderungen

---

[1]) Orth: Gefühl und Bewußtseinslage. Berlin 1903.

[2]) Wundt: Grundriß der Psychologie. Leipzig 1896. S. 98 u. f.

von Stärkevariationen des Reizes verursacht werden; die Reize sind uns ja in derartigen Fällen durchaus unbekannt. Hieraus dürfen wir gewiß schließen, daß die Intensität eines Zustandes ebenso unmittelbar, d. h. von jeglicher Kenntnis der Reize unabhängig, wie die Qualität beurteilt werden kann.

In betreff der Intensität ist übrigens zu bemerken, daß sie bei den Empfindungen und Gefühlen eine große Rolle spielt, indem sie hier oft innerhalb sehr weiter Grenzen variiert werden kann. Die Vorstellungen, Erinnerungsbilder, dagegen haben meistens nur eine geringe Stärke und variieren in dieser Beziehung auch nur wenig.

Zweitens hat jedes Element eine gewisse *Dauer*, zeitliche Extensität. Hierüber kann kein Zweifel bestehen; dagegen gehen die Ansichten über die *räumliche Ausdehnung* der psychischen Elemente weit auseinander. Es muß zugegeben werden, daß von einer räumlichen Ausdehnung der Gefühlselemente keine Rede sein kann; diesen Elementen geht jede Räumlichkeit ab. Ebenso gewiß ist es aber, daß viele Empfindungen immer mit einer gewissen räumlichen Ausdehnung auftreten; eine Farbe z. B. muß ebenso notwendig eine gewisse Fläche einnehmen als eine bestimmte Dauer haben. Dies wird wohl auch von niemand geleugnet; die Frage ist nur, ob die räumliche Ausdehnung unmittelbar mit der Empfindung gegeben oder eine besondere hinzutretende Vorstellung sei. Wir werden später (Kap. 76) sehen, daß die letztere Annahme sich kaum aufrechthalten läßt. Die Tatsachen sprechen dafür, daß alle Empfindungen eine mehr oder weniger hervortretende Ausdehnung haben.

Schließlich besteht zwischen den Empfindungen und den Gefühlstönen wieder ein Gegensatz, indem die ersteren immer eine größere oder geringere *Lebhaftigkeit*, *Klarheit* besitzen, die den letzteren fehlt. Diese Klarheit der Empfindungen und Vorstellungen ist etwas ganz anderes als deren Stärke, was an den Vorstellungen am besten zu erkennen ist. Während die Vorstellungen, wie schon oben bemerkt, selten eine größere Stärke erreichen, können sie sehr wohl eine bedeutende Klarheit oder Lebhaftigkeit besitzen. Man kann eine sehr lebhafte Vorstellung von der Sonne oder einem Donnerschlage haben; eine intensive Vorstellung von solchen Dingen wird wohl kaum möglich sein.

Die erwähnten allgemeinen Eigenschaften der psychischen Elemente: ihre Art, Stärke, Dauer, räumliche Ausdehnung und

Klarheit, bezeichnen wir als die *Dimensionen* dieser Zustände. Ebensowenig wie ein materieller Körper ohne seine drei Dimensionen vorkommen kann, können die verschiedenen psychischen Elemente die ihnen zukommenden Dimensionen entbehren; wird eine derselben auf Null reduziert, so verschwindet das betreffende Element als bewußte psychische Erscheinung. Im folgenden gehen wir nun auf die verschiedenen Dimensionen der Elemente ein und untersuchen ihre Abhängigkeit von den physischen und physiologischen Verhältnissen. Nur die Klarheit der Empfindungen, die durch kompliziertere innere Momente bestimmt wird, muß einem späteren Abschnitte (Kap. 60) vorbehalten werden.

A. Die Empfindungen.

Dreiundzwanzigstes Kapitel.

Einteilung der Empfindungen.

Die herkömmliche Einteilung der Empfindungen ist eine rein physiologische. Da es bei oberflächlicher Betrachtung fünf verschiedene Sinnesorgane gibt, so besitzen wir mithin fünf Sinne: das Gesicht, das Gehör, den Geruch, den Geschmack und das Gefühl. Die Anzahl unserer Empfindungsgruppen oder *Modalitäten* ist indes in neuerer Zeit durch die gemeinsame Arbeit der physiologischen und psychologischen Forschung bedeutend vermehrt worden. Es konnte der psychologischen Beobachtung nicht entgehen, daß die Empfindungen, die unter dem Namen „Gefühl“ zusammengefaßt wurden, so verschiedenartig waren, daß sie kaum durch ein einzelnes Sinnesorgan vermittelt werden konnten. Einige derselben, wie die Druck- und Temperaturempfindungen, rühren von äußeren Reizen her, während andere dagegen von inneren Zuständen des Organismus erregt werden; es konnte somit kaum zweifelhaft sein, daß hier verschiedene Sinnesgebiete vorlagen. Die eingehende physiologische Untersuchung wies denn auch bald mehrere verschiedene Sinnesorgane nach, die je ihrer besonderen Modalität der Empfindungen entsprachen. Bezüglich der in der Haut liegenden Sinnesorgane, die der experimentellen Untersuchung leicht zugänglich sind, besteht jetzt kaum ein Zweifel; unsicherer sind dagegen die Ergebnisse in bezug auf die Arten der Sinne und die Lage ihrer Organe im Inneren

des Körpers. Der physiologische Nachweis der Sinnesorgane genügt somit nicht, um eine vollständige Bestimmung sämtlicher Empfindungsmodalitäten zu gewährleisten.

Es scheint denn auch natürlicher, eine Einteilung der Empfindungen von einem psychologischen Gesichtspunkte aus durchzuführen. Die Empfindungen sind uns als Tatsachen der inneren Erfahrung, unabhängig von jeder Kenntnis der Sinnesorgane, gegeben, und sie müssen daher auch nach ihrer psychischen Verwandtschaft eingeteilt werden können. Die Verwandtschaft z. B. von zwei beliebigen Farbenempfindungen zeigt sich dadurch, daß sich immer eine ganze Reihe anderer Farbenempfindungen nachweisen läßt, die einen allmählichen Übergang zwischen den beiden Außengliedern bilden. Solche Übergänge gibt es aber nicht z. B. zwischen Farbenempfindungen und Tonempfindungen, während diese letzteren ihrerseits wiederum stetige Übergänge zwischen beliebigen Gliedern aufweisen. Jede Gruppe von Empfindungen, deren einzelne Glieder durch stetige Übergänge miteinander verbunden sind, bildet eine besondere Empfindungsmodalität. Es gibt mithin ebenso viele verschiedene Modalitäten, wie sich kontinuierliche Mannigfaltigkeiten von Empfindungen nachweisen lassen [1]).

Dieses psychologische Einteilungsprinzip ist zwar ganz konsequent; in der Praxis läßt es sich jedoch nicht durchführen, weil es zu unannehmbaren Konsequenzen führen würde. Zuvörderst ist es noch ganz unbestimmt, was unter „stetigen Übergängen" eigentlich zu verstehen ist. Wir sahen schon oben (S. 170), daß gleichzeitige Empfindungen in gewissen Fällen zu neuen, unzerlegbaren Qualitäten verschmelzen können, in anderen Fällen dagegen nur analysierbare Mischempfindungen ergeben. Unter stetigen Übergängen kann man also entweder eine Reihe einfacher, qualitativ verschiedener Empfindungen oder eine Reihe mehr oder weniger leicht zerlegbarer Mischempfindungen verstehen. Es liegen also zwei Möglichkeiten vor. Um eine Gruppe von Empfindungen als eine besondere Modalität anzusehen, kann man fordern, daß die Übergänge zwischen zwei beliebigen Gliedern der Gruppe entweder eine Reihe einfacher Qualitäten oder eine Reihe zerlegbarer Mischempfindungen bilden. Es ist aber unmöglich, die eine wie die andere dieser Bestimmungen als Merkmal einer Modalität

---

[1]) Öhrwall: Die Modalitäts- und Qualitätsbegriffe in der Sinnesphysiologie. Skandinavisches Archiv für Physiologie. 1901. Bd. 11, S. 253.

festzustellen; in beiden Fällen würde man zu unhaltbaren Konsequenzen kommen..

Fangen wir mit dem letzteren Fall an, der sich schnell erledigen läßt. Zerlegbare Mischempfindungen als Übergänge zwischen den verschiedenen Gliedern einer Modalität anzunehmen, ist unmöglich, weil dann die verschiedenartigsten Empfindungen nur eine einzige Modalität bilden würden. Zwischen Vanillegeschmack und Süß läßt sich z. B. eine ganze Reihe von Mischempfindungen abstufen; an dem einen Ende der Reihe hat der Vanillegeschmack, an dem anderen Ende die Empfindung Süß das Übergewicht. Diese beiden Empfindungen müssen also, der aufgestellten Forderung zufolge, einer Modalität angehören. Wir können aber diese Konsequenz nicht annehmen, weil der Vanillegeschmack aufhört, sobald das Geruchsorgan auf irgendeine Weise ausgeschaltet wird. Der „Vanillegeschmack" ist einfach eine Geruchsempfindung, die durch ein ganz anderes Sinnesorgan als die Empfindung Süß vermittelt wird und dennoch mit dieser Geschmacksempfindung Mischempfindungen bildet. Auf analoge Weise verhalten sich die meisten unserer sogenannten „Geschmacksempfindungen", die Mischempfindungen von Geschmacks-, Geruchs-, Druck- und Temperaturempfindungen sind. Ein Einteilungsprinzip aber, nach welchem sich nicht einteilen läßt, ist ein Unding.

Versuchen wir hierauf die andere Forderung festzuhalten, so kommen wir von einem Extrem zum anderen. Einfache Qualitäten als Übergänge zwischen zwei beliebigen Gliedern einer Gruppe von Empfindungen finden sich nur auf den Gebieten der Gesichts-, der Geruchs- und der Tonempfindungen. Alle anderen Empfindungen zerfallen in ebenso viele Modalitäten, als es einfache Qualitäten gibt, denn zwischen diesen Qualitäten kommen durchweg nur Mischempfindungen vor. Die konsequente Durchführung einer solchen Einteilung würde jedenfalls unpraktisch sein; sie ist aber auch nicht möglich. Es kommt nämlich sowohl auf dem Gebiete der Geschmacks- als auf dem der Temperaturempfindungen vor, daß verschiedene gleichzeitige Reizungen unter bestimmten Umständen keine Mischempfindungen, sondern neue einfache Qualitäten erregen. Da der Übergang von diesen neuen Qualitäten zu ihren Komponenten nur durch Mischempfindungen der Komponenten gebildet werden, so können die betreffenden Qualitäten also weder unter die Modalität der einen noch unter die der anderen

Komponenten gerechnet werden und müssen somit selbst neue Modalitäten bilden. Wenn das Einteilungsprinzip uns aber zu solchen widersinnigen Konsequenzen führt, daß ein unzerlegbarer Komplex zweier Empfindungen als eine neue Empfindungsmodalität aufzufassen sei, so hat es keine praktische Bedeutung. Die alte Einteilung nach den Sinnesorganen muß dann, trotz ihrer Unvollkommenheit, dem psychologischen Einteilungsprinzip vorgezogen werden, da sie jedenfalls die in einer bestimmten Beziehung zusammengehörenden Empfindungen wirklich zusammenfaßt.

Das physiologische Einteilungsprinzip, die Einteilung nach den Sinnesorganen, können wir indes auch nicht konsequent durchführen. Es kommt nämlich vor, daß durch die gleichzeitige Reizung zwei verschiedener Sinnesorgane (der Temperaturorgane) neue unzerlegbare Qualitäten entstehen. Diejenigen Empfindungen aber, die vollständig verschmelzen können, müssen einer Modalität angehören, sonst kann man ja die aus der Verschmelzung resultierenden Empfindungen nirgendwo unterbringen.

Wenn also weder die psychologischen Beziehungen der Empfindungen noch die peripher-physiologischen Verhältnisse zu einer widerspruchslosen Einteilung der Empfindungen führen können, so läßt sich der Schluß kaum vermeiden, daß die beiden Umstände nebensächlich sind. Es bleibt dann nur die Annahme übrig, daß die zentral-physiologischen Verhältnisse entscheidend sind. *Alle diejenigen Empfindungen, die durch Erregung einer bestimmten Sinnessphäre entstehen können, gehören derselben Modalität an.* Durch diese Annahme wird eine Grundtatsache der Psychologie der Sinne verständlich, die sich folgendermaßen formulieren läßt: *Jede Reizung eines Sinnesnerven erregt immer, unabhängig von der Art des Reizes und vom Reizungsort, Empfindungen derjenigen Modalität, die durch die normale Reizung des betreffenden Sinnesorganes entstehen* (Gesetz der spezifischen Sinnesenergie, J. Müller, 1840). Ob ein Sinnesnerv durch adäquate Reizung des Sinnesorgans oder durch ganz beliebige Reize irgendwo am Stamm erregt wird, macht keinen Unterschied; in allen Fällen entscheidet die Sinnessphäre, die erregt wird, über die Modalität der Empfindung. Diese Eigentümlichkeit der zentralen Sinnessphären, stets mit bestimmten Empfindungsarten zu reagieren, kann entweder durch die angeborene Struktur der betreffenden Neurone gegeben, oder, wie Wundt es annimmt, durch die konstante Ver-

bindung der zentralen Felder mit bestimmten Sinnesorganen erworben sein[1]); wahrscheinlich tragen alle beide Umstände dazu bei. Das Ergebnis wird jedenfalls, daß so viele Empfindungsmodalitäten anzunehmen sind, wie es besondere Sinnessphären gibt.

Von den zentralen Sinnessphären wissen wir nun leider noch weniger als von den peripheren Sinnesorganen. Der Umstand aber, daß uns die nötigen Kenntnisse abgehen, um eine konsequente Einteilung durchzuführen, kann die Gültigkeit dieses Einteilungsprinzipes nicht aufheben. Wir müssen uns dann vorläufig mit einer weniger befriedigenden Einteilung begnügen und verstehen jedenfalls, warum diese vorläufige Einteilung sich widerspruchslos nicht durchführen läßt. Wie wir oben sahen, führt die Einteilung nach den Sinnesorganen zu den wenigsten Inkonsequenzen. Wir teilen daher die Empfindungen in die fünf Hauptgruppen ein: Gesichts-, Gehörs-, Geruchs- und Geschmacks-, Haut- nebst Organempfindungen. Die beiden letzten Gruppen umfassen jedoch noch viele Modalitäten.

I. Die Gesichtsempfindungen.

Vierundzwanzigstes Kapitel.

Das Auge.

Das Auge besteht aus zwei Apparaten, einem dioptrischen, lichtbrechenden und einem reizempfänglichen, nervösen, die in ein starkes Gehäuse eingeschlossen eng miteinander verbunden sind. Der äußerste Teil dieses Gehäuses ist die *Sehnenhaut* (sclera, *s*, Fig. 28), ein weißes lederartiges Sehnengewebe von fast kugelförmiger Gestalt; an der nach vorn gerichteten Seite geht die Sehnenhaut in die etwas stärker gekrümmte, durchsichtige *Hornhaut* (cornea, *c*) über, während sie hinten von dem *Sehnerven* (*no*) durchbohrt ist. Auf der Innenseite ist die Sehnenhaut mit der *Aderhaut* (chorioidea, *ch*) bekleidet; diese enthält teils die Blutgefäße, die die Ernährung des Auges vermitteln, teils ein schwarzbraunes Pigment, das sowohl Lichtreflexionen im Inneren des Auges als Eindringen fremden Lichtes durch die Sclera verhindert. Die Aderhaut

[1]) Wundt: Physiologische Psychologie. Leipzig 1908. Bd. 1, S. 499. u. f.

bildet hinten nur eine glatte, dünne Membran; in der vorderen Hälfte des Auges ist ihre Innenseite dagegen gefaltet, wodurch die sogenannten *Ciliarfortsätze* (*ci*, Fig. 28 und 29) entstehen. Zwischen der Aderhaut und der Sehnenhaut liegt, ebenfalls nur in der vorderen Hälfte des Auges, der *Ciliarmuskel* (*cm*); wenn dieser sich kontrahiert, werden die Ciliarfortsätze nach oben und innen gezogen, wodurch die später zu besprechenden Formveränderungen des dioptrischen Apparates entstehen

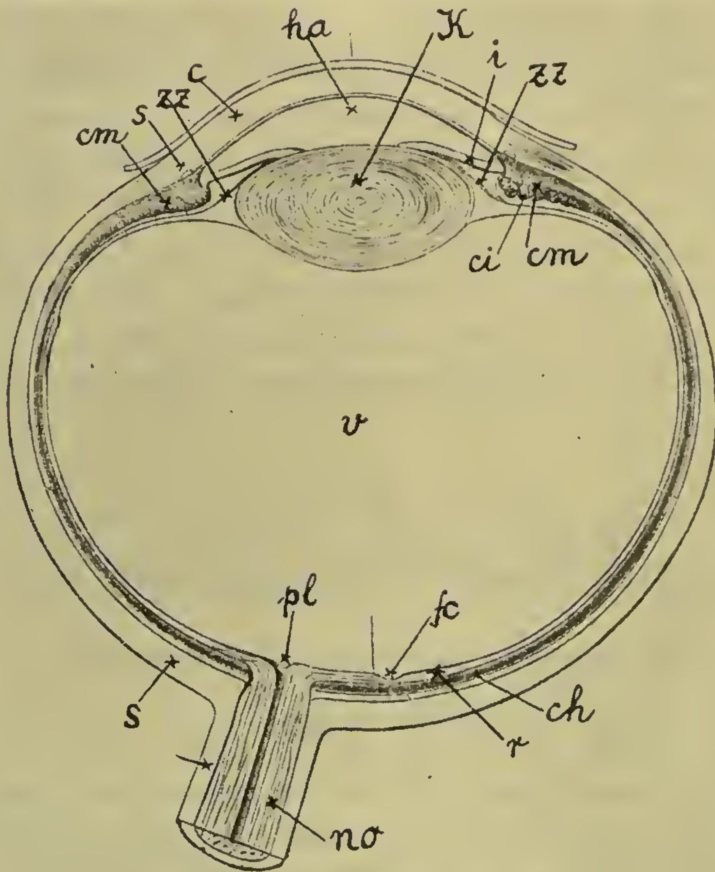


Fig. 28. Horizontalschnitt durch das menschliche Auge (nach Huxley).

Hinter der Hornhaut bildet die Aderhaut eine ebene Fläche, die von vorn sichtbar ist und eine individuell verschiedene Färbung zeigt; diese in der Mitte durchlöcherte Membran ist die *Iris* (*i*) mit der *Pupille*.

Die durchsichtige Cornea bildet den ersten Teil des dioptrischen Apparates [1]). Zwischen derselben und der Iris befindet sich eine *wässerige Feuchtigkeit* (humor aqueus, *ha*), und un-

[1]) Helmholtz: Handbuch der physiologischen Optik. 2. Aufl. Leipzig 1896. S. 5 u. f.

mittelbar hinter der Iris liegt die doppelkonvexe *Krystallinse* (K), die von allen lichtbrechenden Teilen des Auges die größte Brechbarkeit besitzt. Die Linse besteht aus einer weichen Substanz, die zahlreiche, ineinander eingeschachtelte Schichten bildet; das Ganze ist von einer elastischen Membran, der *Linsenkapsel*, eingeschlossen. Der Raum hinter der Linse ist von dem *Glaskörper* (corpus vitreum, v) erfüllt. Der dioptrische Apparat bildet somit ein annähernd kugelförmiges Linsensystem, dessen einzelnen Teile verschiedene Brechbarkeit besitzen, wodurch sowohl die sphärische Abweichung der Strahlen als die Farbenzerstreuung bedeutend reduziert werden; vollständig ist dieser Zweck jedoch nicht erreicht. In einem normalen Auge liegen die Mittelpunkte der verschiedenen brechbaren Medien ungefähr in einer Geraden, die auch durch den Mittelpunkt der Iris geht; diese Linie ist die *Achse* des Auges. Das optische System ist somit annähernd, aber nicht vollständig zentriert.

Ist die Achse eines normalen, ruhenden Auges gegen einen unendlich fernen Punkt gerichtet, so vereinigen sich die parallel einfallenden Strahlen auf die hintere innere Wand des Auges, wo der reizempfängliche Apparat, die *Netzhaut* (retina, r) liegt, und es bildet sich also hier ein scharfes Bild der Lichtquelle. Bei Annäherung der Lichtquelle an das Auge würde sich der Vereinigungspunkt der Strahlen rückwärts verschieben und das Bild auf der Wand mithin undeutlich werden, wenn der dioptrische Apparat sich nicht verändern ließe. Eine zweckmäßige Veränderung des Linsensystems tritt aber reflektorisch ein, wenn die Augenachsen auf einen in endlicher Entfernung sich befindenden Punkt gerichtet werden. Dies wird dadurch erreicht, daß die Linse mit den Ciliarfortsätzen mittels eines elastischen Bandes (zonula zinii, zz) verbunden ist. Die Fäserchen dieses Bandes sind sowohl vorn als hinten in der Nähe des Linsenrandes befestigt, und im ruhenden Auge sind sie stark gespannt, so daß die Linse durch den Zug abgeplattet wird. Mit der Konvergenz der Augenachsen kontrahiert sich nun reflektorisch der Ciliarmuskel, wodurch die Ciliarfortsätze nach vorn und innen gezogen werden; die Spannung der Zonula und damit der Zug am Linsenrande werden hierdurch kleiner, und die Wölbung der Linsenflächen größer [1]. Infolge dieser Veränderungen wird die Brennweite der Linse

---

[1]) Schenck: Dioptrik und Akkommodation. Nagels Handbuch, 3. Bd., S. 50 u. f.

kleiner, so daß das Bild der Lichtquelle sich wieder scharf auf der Netzhaut zeichnet. Diesen Vorgang nennt man die *Akkommodation* des Auges.

Noch ein anderer Vorgang, die *Veränderung der Pupillenweite*, trägt dazu bei, daß die Bilder bei jeder Entfernung der Lichtquelle deutlich werden können. Die Iris enthält zahlreiche, sowohl ringförmig (*ri*, Fig. 29) als radiär, strahlenförmig (*s*) verlaufende glatte Muskelfasern, die sich reflektorisch kontrahieren oder dilatieren, wodurch die Pupille größer, bzw. kleiner wird. Beobachtet man das eigene Auge in einem

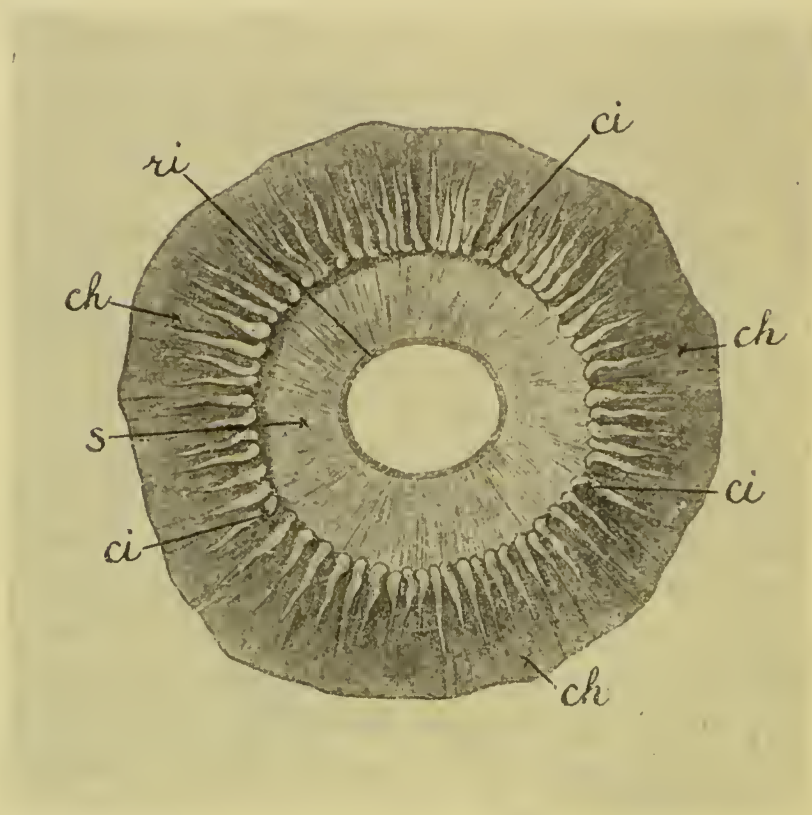


Fig. 29. Vordere Hälfte des Auges von hinten (nach Huxley).

Spiegel, bemerkt man leicht, daß die Pupille um so kleiner wird, je näher der Spiegel an das beobachtende Auge gehalten wird. Durch diese Verengerung der Pupille werden die Randstrahlen abgeblendet, der ins Auge eindringende Lichtkegel spitzer, so daß selbst bei unvollkommener Akkommodation die Schärfe der entstandenen Bilder weniger geschädigt wird. Auf diese Weise wird es möglich, daß Gegenstände, die sich in kleinen, aber verschiedenen Entfernungen vom Auge befinden, beinahe gleich deutlich gesehen werden können.

Völlig scharf zeichnen sich die Bilder jedoch nie; die von einem Punkte im Raume ausgehenden Strahlen können nie

mathematisch genau in einem Punkt der Netzhaut sich vereinigen. Mehrere Umstände tragen hierzu bei[1]). Erstens ist das Auge nicht achromatisch, so daß Strahlen verschiedener Brechbarkeit, wie sie im gewöhnlichen weißen Lichte enthalten sind, nicht in einem Punkte vereinigt werden können. Ferner kommt auch eine sphärische Abweichung vor, die darauf beruht, daß selbst monochromatisches Licht in einem von Kugelflächen begrenzten Linsensystem ungleichmäßig gebrochen wird; die Randstrahlen werden nämlich der Linse näher als die Zentralstrahlen vereinigt. Die meisten Augen sind außerdem astigmatisch, d. h. die brechenden Flächen sind nicht Kugelflächen, sondern haben verschiedene Krümmungsradien in den verschiedenen Richtungen, woraus folgt, daß parallel einfallende Strahlen nicht in einem Punkte, sondern längs einer Linie vereinigt werden. Die schon oben erwähnte mangelhafte Zentrierung der brechenden Flächen und eine ungleichmäßige Brechbarkeit der Augenmedien können schließlich auch in derselben Richtung wirken. Das Resultat all dieser verschiedenen Umstände wird, daß *ein Punkt im Raume sich nicht als einen Punkt, sondern als eine Fläche, den Zerstreuungskreis, auf der Netzhaut abbildet*, und innerhalb dieses Kreises ist die Verteilung des Lichtes je nach den vorherrschenden Ursachen eine verschiedene. Die Intensität ist jedoch immer im Zentrum am größten und fällt jäh gegen die Grenze ab. Diese Ausbreitung des Lichtes im Netzhautbilde nennt man die *Irradiation*, oder richtiger: *die dioptrische Irradiation*, um das Phänomen von der später zu besprechenden retinalen Irradiation zu unterscheiden. Bei den sogenannten geometrisch-optischen Täuschungen spielen diese beiden Formen der Irradiation eine wesentliche Rolle (vgl. Kap. 78 und 79).

Die Pupillenweite ist übrigens nicht nur von der Akkommodation des Auges, sondern auch von der Intensität des einfallenden Lichtes abhängig, so daß die Pupillenweite bei konstanter Akkommodation kleiner wird, wenn die Lichtstärke wächst. Diese Veränderungen sind so bedeutend, daß das Areal der Pupille bei starker Beleuchtung bis zwanzigmal kleiner sein kann als im Dunkeln. Es fällt somit auch zwanzigmal weniger Licht ins Auge, als der Fall sein würde, wenn die Pupille dieselbe Weite wie im Dunkeln hätte. Diese Verengerung der Pupille bei wachsender Beleuchtung ist also eine Vorrichtung, durch die

---

[1]) Schenck, a. a. O. S. 69 u. f.

das Auge gegen eine zu große Lichtstärke geschützt wird. Bei genauen physiologisch-optischen Messungen muß diese Veränderung der Pupillenweite dadurch eliminiert werden, daß vor dem Auge eine künstliche Pupille angebracht wird, die wenigstens nicht größer als der kleinste Wert der natürlichen (etwa 2 mm) ist. Nur auf diese Weise erreicht man, daß die tatsächlich einwirkenden Reizstärken den gemessenen entsprechen.

Die *Netzhaut*, der reizempfängliche Apparat, liegt im Hintergrunde des Auges unmittelbar an der Innenwand der Aderhaut und reicht vorn ungefähr bis zum Anfang der Ciliarfortsätze. Sie bildet eine höchstens 0,4 mm dicke Schicht, die trotz ihrer Feinheit einen äußerst kompliziert Bau hat[1]). An der Außenseite, der Aderhaut am nächsten, liegt eine dunkelbraune *Pigmentschicht* (*1*, Fig. 30), deren Farbstoff sich unter gewissen Umständen in die folgende Schicht hinein streckt. Diese folgende Schicht (*2*) enthält die charakteristischen Gebilde, die *Stäbchen* (*s*) und *Zapfen* (*z*), die als Ausläufer von den *Sehzellen* (*3*) zu betrachten sind. Nach innen setzen sich die Sehzellen mit feinen Fäden fort, die bei den Stäbchenzellen mit kleinen Kugeln, bei den Zapfenzellen mit platten Kegeln endigen. Hierauf folgt die Schicht der *bipolaren*

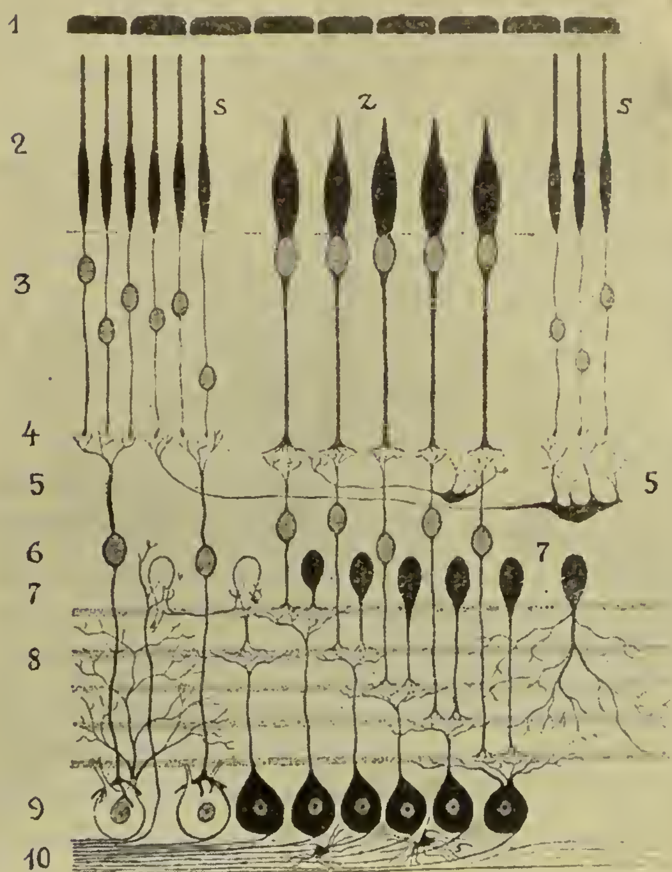


Fig. 30. Querschnitt durch die Retina. (schematisch nach R. y Cajal).

[1]) Ramon y Cajal: Die Retina der Wirbeltiere, deutsch von Graff, 1894. Greef: Der Bau der menschlichen Retina. 1896.

Zellen (*6*), deren Dendritten einerseits mit den Ausläufern der Sehzellen (*4*), andererseits mit den Dendritten (*8*) der *Ganglienzellen* (*9*) in Verbindung stehen. Von den Ganglienzellen gehen *Nervenfasern* (*10*) aus, die gleich an der Ursprungsstelle rechtwinkelig umbiegen und auf der Innenseite der Retina nach einer bestimmten Stelle (papilla, *pl*, Fig. 28) laufen, wo sie sich vereinigen und den Sehnerven bilden, der hier durch die Aderhaut und die Sehnenhaut das Auge verläßt. Außer den erwähnten Gebilden kommt noch eine Schicht von *Horizontalzellen* (*5*) vor, die die verschiedenen Stäbchen und Zapfen miteinander in Verbindung setzen, und schließlich eine Schicht *unipolarer Zellen* (*7*), die mit den Sehzellen nicht verknüpft sind, und deren Bedeutung unbekannt ist.

Die Endgebilde der Sehzellen, die Stäbchen und Zapfen, sind der eigentliche reizempfängliche Apparat. Sie fehlen vollständig an der Papilla, und hier läßt sich auch keine Empfindung auslösen; die Stelle nennt man daher den *blinden Fleck.* Außerdem kann man bei schräger Beleuchtung des Auges die Schatten der Blutgefäße in der Netzhaut beobachten; dies beweißt, daß der reizempfängliche Apparat tiefer als die Gefäße liegen muß. Beide Gebilde haben einen übereinstimmenden Bau, indem sie aus einem dickeren Innenglied und einem feineren Außenglied bestehen; die Stäbchen sind aber länger und schlanker als die Zapfen. Der Durchmesser der ersteren beträgt etwa 0,002 mm, der der letzteren 0,005 mm. Die Außenglieder beider Gebilde sind glänzend und stark lichtbrechend; die der Stäbchen enthalten ein rotes Pigment, den *Sehpurpur*, das nicht in den Zapfen vorkommt. Stäbchen und Zapfen liegen dicht nebeneinander; in dem größten Teil der Netzhaut ist die Anzahl der Stäbchen im Übergewicht, gegen die Mitte nimmt aber die Zahl der Zapfen etwas zu, und an der Stelle des deutlichsten Sehens fehlen die Stäbchen vollständig. Es fehlen hier auch alle die oben angegebenen Schichten nervöser Gebilde, die an die Seite geschoben sind, wodurch die Netzhaut in der Umgebung dicker wird. Die Stelle des deutlichsten Sehens tritt daher als eine Vertiefung, die *Zentralgrube* (fovea centralis, *fc*, Fig. 28), hervor; die Umgebung ist gelb gefärbt und heißt der *gelbe Fleck* (macula lutea).

Der Umstand, daß an der Stelle des deutlichsten Sehens die Stäbchen fehlen, während umgekehrt diese gegen die Peripherie der Netzhaut hin, wo das Sehen am undeutlichsten ist, um so zahlreicher werden, zeigt offenbar, daß *die Zapfen für die genaue*

Auffassung der auf der Netzhaut gezeichneten Bilder von Bedeutung sind. Hierfür spricht auch die Tatsache, daß jeder Zapfen der Fovea nur mit einer Nervenfaser in Verbindung steht, wodurch eine scharfe Lokalisation der erregten Empfindung ermöglicht wird. Dagegen sind wohl immer mehrere Stäbchen mit einer Nervenfaser verbunden, so daß die Reizung eines bestimmten Stäbchens nicht auf dieses allein, sondern wahrscheinlich auf die ganze mit der betreffenden Faser verbundene Gruppe bezogen wird. Beim *indirekten Sehen*, d. h. beim Sehen mit der Netzhautperipherie, sind die Bilder daher immer verschwommen, ohne scharfe Konturen; die ungenaue Lokalisation scheint eine ähnliche Wirkung zu haben, als ob das Licht über eine größere Fläche zerstreut wäre. Auf diese Weise findet also eine Art Irradiation statt, die als *retinale Irradiation* der dioptrischen nebenzustellen ist. Für die Unterscheidung getrennter Punkte werden dann besonders die an der betreffenden peripheren Netzhautstelle vorkommenden Stäbchengruppen von Bedeutung. (Kap. 78).

Noch eine Funktion, nämlich *die Auffassung der Farben, scheint von den Zapfen abhängig zu sein*[1]). Mit dem Netzhautzentrum, wo nur Zapfen vorhanden sind, kann ein normales Auge alle Farben wahrnehmen, während es in der Peripherie total farbenblind ist. Jede Reizung der Stäbchen löst also nur die Empfindungen Hell und Dunkel aus; die Stäbchen sind aber in dieser Beziehung weit empfindlicher als die Zapfen. Ein schwacher Lichtreiz, der im Netzhautzentrum überhaupt unmerklich ist, kann unter bestimmten Umständen mit der Peripherie noch deutlich wahrgenommen werden. Hierbei spielt der in den Stäbchen vorkommende Sehpurpur wahrscheinlich eine wesentliche Rolle. Von allen Farben des Spektrums sind es nämlich besonders die grünen, die noch bei sehr geringer Intensität imstande sind, eine Lichtempfindung auszulösen. Die grünen Strahlen werden aber vorwiegend vom Sehpurpur absorbiert, und dieser Farbstoff scheint somit die Rolle eines Sensibilisators zu spielen[2]). Dafür spricht noch der Umstand, daß der Sehpurpur bei dauernder Be-

---

[1]) Parinaud: La vision. Paris 1898. Kries: Die Gesichtsempfindungen. Nagels Handbuch, 3. Bd.

[2]) Sensibilisatoren nennt man in der Photographie Farbstoffe, die, ohne sich an den chemischen Vorgängen zu beteiligen, eine damit gefärbte photographische Schicht für bestimmte Farbenstrahlen empfindlicher, sensibler, machen.

leuchtung blasser und schließlich gelb oder gar weiß wird. Eine deutliche Bleichung tritt bei Tageslicht schon in 2—7 Min. ein. Dann hat aber auch die Netzhaut die Fähigkeit verloren, von ganz schwachen Reizen beeinflußt zu werden; sie gewinnt aber ihre Empfindlichkeit wieder, wenn der Sehpurpur im Dunkeln regeneriert ist, was etwa 20 Min. erfordert.

Außer der Bleichung des Sehpurpurs sind noch einige andere Veränderungen als Wirkung einer Belichtung in der Netzhaut nachweisbar. In dem im Dunkeln ausgeruhten Auge liegt das schwarzbraune Pigment in den Zellkörpern des Pigmentepithels, außerhalb der Stäbchen- und Zapfenschicht; bei starker Beleuchtung wandert es in wenigen Minuten zwischen die Außenglieder der Stäbchen hinein. Die maximale Dunkelstellung wird erst wieder in einigen Stunden erreicht. Die Wanderungen des Pigments finden nur an den belichteten Stellen statt, aber die Bedeutung dieser Veränderung ist ganz unbekannt. Dasselbe gilt von der Tatsache, daß die Zapfen sich bei Belichtung verkürzen, während sie sich im Dunkeln so strecken, daß sie bis an die Grenze des Pigmentepithels reichen. Auch diese Veränderung findet verhältnismäßig langsam statt, so daß sich wohl nur das Negative behaupten läßt, daß sie nichts Direktes mit der Auslösung des Nervenprozesses zu tun hat.

Was übrigens bei der Reizung der Netzhaut stattfindet, und wie die Erregung der Nerven zustande kommt, entzieht sich der direkten Beobachtung. Da die Nerventätigkeit, wie schon oben (S. 105) auseinandergesetzt, aller Wahrscheinlichkeit nach auf chemischen Veränderungen beruht, und da diese chemischen Umwandlungen durch das Licht hervorgerufen werden, handelt es sich hier zweifellos um photochemische Vorgänge. Nähere Aufklärung über diese Vorgänge können wir nur auf die Weise erhalten, daß wir sie aus den im folgenden darzustellenden Tatsachen ableiten, indem nur solche Vorgänge angenommen werden, die notwendig und ausreichend sind, um die Tatsachen zu erklären. Sehr viele derartige Theorien sind nach und nach von verschiedenen Forschern: Young[1]), Helmholtz[2]), Hering[3]), G. E. Müller[4]), Ladd-

[1]) Lectures on natural philosophy. London 1807.

[2]) Handbuch der physiologischen Optik. 2. Aufl. Hamburg 1896.

[3]) Die Lehre vom Lichtsinn. Wien 1878.

[4]) Zur Psychophysik der Gesichtsempfindungen. Zeitschrift für Psychologie. Bd. 10 und 14.

Franklin[1]), A. Fick[2]) und viele andere, aufgestellt worden; sie haben aber alle das gemeinsam, daß sie nur einen Teil der erfahrungsmäßig gegebenen Tatsachen ungezwungen erklären können und dann und wann wohl auch mit dem Faktischen in Streit geraten. Die Unzulänglichkeit der verschiedenen Theorien kann nun eben nicht wundernehmen, denn die zu erklärenden Tatsachen sind äußerst mannigfaltig, wie wir später sehen werden. Die individuellen Unterschiede sind nämlich so groß, daß man eine ganze Reihe von Typen, vom gewöhnlichen normalen Auge bis zur totalen Farbenblindheit hinab, nachgewiesen hat, und die Möglichkeit dieser Typen muß eine annehmbare Theorie erklären können. Ferner gibt es für das normale Auge nicht eine bestimmte Art des Farbensehens, sondern die Farbenauffassung variiert auch hier von einer Netzhautregion zur anderen. Eine Farbentheorie, die überhaupt eine Bedeutung beanspruchen können wird, muß also erstens die für das Farbensehen des normalen Auges festgestellten Gesetze und zweitens die verschiedenen Abweichungen von der Norm erklären können. Dies ist den oben erwähnten Theorien nicht gelungen.

Nun hat aber in der neuesten Zeit Schenck[3]) nachgewiesen, daß es möglich ist, eine — wenigstens dem Anscheine nach — anwendbare Theorie auf die Weise aufzustellen, daß man aus den historisch gegebenen Theorien eben die Züge festhält, die die einfachste Erklärung bestimmter Tatsachen geben. Schenck hat nur gezeigt, wie diese kombinierte Theorie die Abweichungen vom normalen Farbensehen erklären kann, während er die Gesetze des normalen Farbensehens fast unberücksichtigt läßt. Es ist indes leicht zu sehen, daß die Theorie auch den normalen Erscheinungen eine befriedigende Erklärung geben kann und sogar imstande ist, gewisse Tatsachen zu bewältigen, die wegen ihrer Schwierigkeit von allen anderen Theorien vernachlässigt worden sind. Um die Erklärung der Tatsachen gleichzeitig mit der Darstellung derselben geben zu können, sollen hier kürzlich die für das normale Farbensehen wesentlichen Punkte der Theorie angeführt werden. Wenn dann später von den Abweichungen vom Normalen die Rede sein wird, können wir unschwer nach und nach die nötigen Erweiterungen der Theorie hinzufügen.

---

[1]) Zeitschrift für Psychologie. Bd. 4, 1893.
[2]) Pflügers Archiv. Bd. 47, 1890.
[3]) Theorie der Farbenempfindung. Pflügers Archiv. Bd. 118, 1907.

Am einfachsten liegen, nach *Schencks Theorie*, die Verhältnisse in den Stäbchen. Hier kommt nur eine einzige Sehsubstanz vor, deren Zersetzung immer die Empfindung Weiß auslöst; diese Substanz ist aber nicht gleich empfänglich für jede Strahlenart, indem sie mittels des Sehpurpurs sensibilisiert ist, wodurch die langwelligen, roten und gelben Strahlen eine relativ geringe Wirkung erhalten. Es wird nun ferner angenommen, daß dieselbe Sehsubstanz auch in den Zapfen vorkommt, wo sie sich jedoch teilweise umgeformt hat. Erst entstehen zwei neue Sehsubstanzen, von welchen die eine vorwiegend durch die kurzwelligen Strahlen des Spektrums erregbar ist und die Empfindung Blau [1]) vermittelt, während die andere von den langwelligen Strahlen zersetzt wird und die Empfindung Gelb gibt. Diese letztere Substanz hat sich dann wieder in zwei neue Stoffe geteilt, deren Zersetzung die Empfindung Rot, bzw. Grün, hervorruft. Wenn die beiden Stoffe dagegen gleichzeitig in bestimmtem Verhältnis zersetzt werden, entsteht dieselbe Empfindung wie durch den ursprünglichen Stoff, nämlich Gelb. In den Zapfen des Netzhautzentrums kommen hauptsächlich diese drei Substanzen vor, die so sensibilisiert sind, daß der Roterreger besonders von den langwelligen Strahlen, der Grünerreger von den Strahlen mittlerer Wellenlänge, und der Blauerreger von den kurzwelligen Strahlen zersetzt werden. Gegen die Netzhautperipherie hin kommen dagegen vorwiegend sowohl die ungeteilte Sehsubstanz als auch der Gelb- und Blauerreger vor, und dadurch entstehen die hier vorkommenden Formen von Farbenblindheit. Wenn die verschiedenen Teile der Sehsubstanz gleichzeitig in bestimmten Verhältnissen gereizt werden, so entsteht immer dieselbe Empfindung, die von der ungeteilten Substanz hervorgerufen wird, nämlich Weiß.

Wir werden nun im folgenden den Nachweis führen, daß die verschiedenen psychophysiologischen Tatsachen in betreff des Farbensehens sich einfach nach dieser Theorie erklären lassen, indem wir davon ausgehen, daß die photochemischen Zersetzungen der physiologischen Sehstoffe denselben Gesetzen unterliegen, die sonst für photochemische Vorgänge, z. B. in der photographischen Schicht, nachgewiesen sind.

---

[1]) Schenck sagt Blau; meines Erachtens würde Blauviolett den Tatsachen besser entsprechen.

Fünfundzwanzigstes Kapitel.

Die Farbenempfindungen.

Um über die Mannigfaltigkeit der Farbenempfindungen einen Überblick zu gewinnen, hat man diese systematisch geordnet. Fangen wir mit den „bunten“ Farben an, so können wir, von Rot z. B. ausgehend, durch zahlreiche rotorange, orange und gelborange Zwischenstufen zu Gelb kommen, und von dieser Farbe aus wieder durch Gelbgrün zu Grün. Dem Grün reiht sich dann zuerst Blaugrün, Grünblau und Blau an, und von letzter Farbe kommt man dann durch Violett und Rotviolett (Purpur) zu Rot zurück. Diese Ordnung der Farben beruht ausschließlich auf der psychischen Verwandtschaft der Farbenempfindungen. Jedes normal-farbentüchtiges Kind, das keine Ahnung von der Reihenfolge der Farben im Spektrum hat, wird die Farben auf die erwähnte Weise ordnen, wenn man ihm eine nicht zu große Anzahl Pigmente, z. B. Wollproben, vorlegt mit der Aufforderung, die Farbe zu suchen, die dem Rot am meisten ähnlich ist, dann die Farbe, die der gewählten am meisten ähnelt u. s. f. Da man, von einer beliebigen Farbe ausgehend, durch alle möglichen Zwischenstufen wieder zu derselben Farbe zurückkehrt, so bilden die bunten Farben also eine geschlossene Reihe; wir können diese Reihe durch einen Zirkel darstellen, wo jeder Punkt einen bestimmten *Farbenton* bezeichnet.

In die gefundene Reihe der bunten Farben kann man Weiß nicht einreihen, erstens weil dadurch die geschlossene Kette der bunten Farben würde gebrochen werden, und zweitens, weil man dann keinen Platz für die Übergänge zwischen Weiß einerseits und den verschiedenen bunten Farben andererseits haben würde. Dies wird am einfachsten dadurch erreicht, daß man Weiß im Zentrum des Farbenkreises unterbringt; die Radien enthalten dann die *ungesättigten* Farben, die weißlichen Abstufungen der voll *gesättigten* Farben des Kreises. Die so geordneten Farben können ferner alle möglichen Intensitätsstufen durchlaufen, indem ihre Intensität entweder wächst, bis alle Farben schließlich in eine unterschiedslose blendende Helligkeit übergehen, oder aber abnimmt, bis die Farben sich in ein unterschiedsloses Dunkel verlieren. Nennen wir diese beiden Außenglieder der Stärkevariationen „Blendendweiß“ und „Tiefschwarz“, so können wir die Stärkegrade der

Farbenempfindungen auf die Weise darstellen, daß wir eine Senkrechte im Zentrum des Farbenkreises errichten und in den Endpunkten dieser Linie die erwähnten Empfindungen, *Bw* und *S* (Fig. 31), anbringen. Jede Linie von einem Punkte des Farbenkreises bis zu diesen beiden Endpunkten enthält dann die verschiedenen Stärkegrade der betreffenden Farbe. Auf diese Weise entsteht ein Doppelkegel, dessen Mantel die gesättigten Farben, dessen Innere alle ungesättigten Farben in allen möglichen Stärkegraden enthält. *Die Farben bilden somit ein dreidimensionales System, wo eine beliebige Farbe durch Angabe dreier Größen: Farbenton, Sättigung und Intensität, bestimmt ist.*

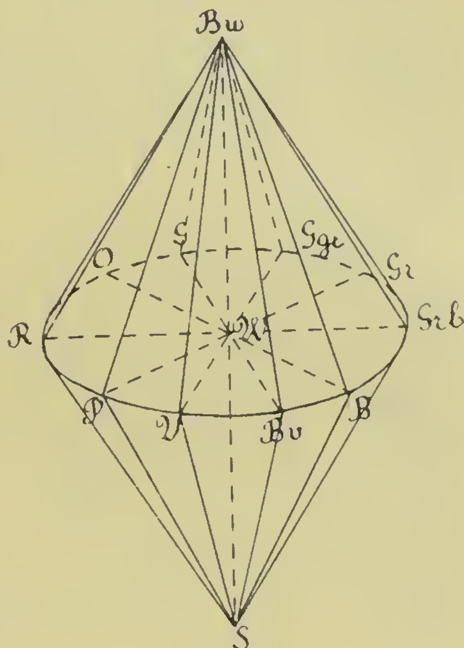


Fig. 31.

Die jetzt recht übliche Darstellung des Farbensystems, die einfach die Reihe Weiß-Grau-Schwarz durch die Senkrechte im Zentrum abbildet, und alle Übergänge von den Farben des Farbenkreises zu diesen „Grautönen“ als Qualitätsunterschiede[1]) betrachtet, berücksichtigt augenscheinlich nur die Farbenempfindungen, die bei konstanter Beleuchtung mittels Pigmente erhalten werden können. Die Pigmente sind verschiedene Qualitäten, und bei der Betrachtung eines solchen „Pigmentsystems“ hat man keinen Anlaß von Stärkeunterschieden zu reden. Wird es nun außerdem nicht einmal hervorgehoben, daß das Weiß und das Schwarz des Farbensystems viel heller, bzw. dunkler vorgestellt werden muß, als die von den hellsten und dunkelsten Farbstoffen erhaltenen Empfindungen, so ist die Darstellung zunächst unrichtig. Es gibt dann viel mehr Farbenempfindungen als die im Systeme mitgenommenen, nämlich noch alle diejenigen Empfindungen, die bei Verstärkung, bzw. Herabsetzung der Beleuchtung des Pigmentsystems entstehen.

Ferner ist es auch nicht richtig, in das Zentrum des Farbenkreises Grau zu setzen. Niemand wird das Weiß, das einer Reihe Spektralfarben mittlerer Helligkeit entspricht, Grau nennen, wenn er es im Spektralapparate sieht; wenn das Weiß aber als graues Pigment verkörperlicht neben helleren Pigmenten vorliegt, dann wird es allerdings Grau genannt. Nach meinem Ermessen ist uns indes unmittelbar nur die Empfindung Weiß verschiedener Stärke gegeben.

---

[1]) Kroman: Sur le système de nos sensations des couleurs, Bulletin de l'Academie de Danemark. 1890. Ebbinghaus: Psychologie. 1902.

Da die Erfahrung uns aber lehrt, daß solche Helligkeitsdifferenzen durch graue Pigmente verschiedener Art hergestellt werden können, so ist man dadurch verführt worden, auch die Empfindungen als qualitativ verschieden aufzufassen. Auf anderen Empfindungsgebieten, z. B. dem der Töne, scheint es immer gekünstelt, die unmittelbar empfundenen Stärkeunterschiede als Artsunterschiede zu bezeichnen, eben weil hier eine Verkörperlichung der Stärkegrade unmöglich ist. Die obige Darstellung entspricht daher den psychologischen Tatsachen weit besser als die übliche, die von dem Pigmentsysteme abgeleitet ist.

Die vier Farben, die die Sprache mit einfachen Farbennamen bezeichnet: rot, gelb, grün und blau, werden gewöhnlich die *Hauptfarben* genannt und als einfache Farben den übrigen bunten Farben als den zusammengesetzten gegenübergestellt. Aus diesem Gegensatz haben verschiedene Forscher weitgehende Folgerungen gezogen. Aller Wahrscheinlichkeit nach ist hier ein großes theoretisches Gebäude auf einer sprachlichen Zufälligkeit aufgebaut. Die Sprache muß Farbennamen so wie andere Wörter haben, und sie entwickelt sich, wie wir es täglich sehen, mit den Fortschritten auf technischem, künstlerischem und sonstigen Gebieten. Auf einer niedrigeren Entwicklungsstufe, wo die feineren Farbenunterschiede kein Interesse hatten, sind für gewisse Hauptgruppen der Farben einfache Namen gebildet. Das eben vier solche Namen vorhanden sind, ist wohl zunächst eine Zufälligkeit. Die einfachen Namen suggerieren indes eine Einfachheit der betreffenden Empfindungen, während die übrigen Farben, die wir mit solchen Namen nicht bezeichnen können, schon durch ihre Namen — gelbgrün, blaugrün usw. — als zusammengesetzt hervortreten [1]). Es ist zwar eine Tatsache, daß man im Spektrum ein Rot finden kann, das keine Spur von Blau oder Gelb enthält, und ebenso ein Gelb, das keine Spur von Rot oder Grün enthält, usw. Dies ist aber nur eine Sache der Gewöhnung. Ich kann ebensogut ein Orange nachweisen, das weder Rot noch Gelb enthält, und ein Violett, das weder Blau noch Rot aufweist, und hätte ich mehrere solche einfachen Farbennamen, könnte ich zweifellos auch mehrere ungemischte Empfindungen finden. Ein Grünblau aber, das weder Grün noch Blau enthält, ist schon wegen des Namens eine Unmöglichkeit. Die ganze Frage von den einfachen und zusammengesetzten Farbenempfindungen beruht mithin meines

---

[1]) Höffding: Psykologi. 5. Udg. Kopenhagen 1905. S. 134 u. f.

Erachtens nur auf sprachlichen Suggestionen. Die Sprache beherrscht unsere Empfindungen ebensowohl als unser Denken.

Nachdem wir jetzt einen Überblick über die zu behandelnden psychischen Erscheinungen, die Farbenempfindungen, gewonnen haben, wird es im folgenden die Aufgabe sein, die Abhängigkeit dieser Empfindungen von den physischen Ursachen, von der Art, der Stärke und der Zusammensetzung des Lichtes, zu untersuchen. Hierbei muß anfangs stets vorausgesetzt werden, daß das Auge sich in einem völlig ausgeruhten, „dunkeladaptierten" Zustande befindet; es zeigt sich nämlich, daß der Zustand des reizempfänglichen Apparates einen nicht unwesentlichen Einfluß auf die resultierenden Empfindungen ausübt. Da dieser Zustand schon durch die Reizung verändert wird, ist ferner die Abhängigkeit der Empfindungen von der Dauer der Reizung zu bestimmen. Hieran schließt sich dann die Abhängigkeit der Empfindungen von der räumlichen Ausdehnung und von der Lage des Reizes auf der Netzhaut, und schließlich sind die verschiedenen Formen des anormalen Farbensehens zu behandeln.

Sechsundzwanzigstes Kapitel.

Abhängigkeit der Farben von Qualität und Intensität der Reize.

Die reinsten, gesättigsten Farben, die wir erhalten können, entstehen, wenn das Licht der Sonne oder einer unserer künstlichen Lichtquellen durch ein Prisma gebrochen wird, besonders wenn das Licht durch eine schmale Spalte eintritt und die Strahlen gleicher Brechbarkeit mittels Linsen zu nebeneinander gelagerten Spaltbildern vereinigt werden. Die gegenseitige Lage dieser farbigen Spaltbilder zeigt unmittelbar, daß *die Empfindung Rot von den am wenigsten brechbaren, die Empfindungen Orange, Gelb, Grün, Blau und Violett von den immer brechbareren Strahlen erregt werden.* Der Äthertheorie zufolge sind die Lichtstrahlen um so weniger brechbar, je größer ihre Wellenlänge ist; es sind mithin die langwelligen Strahlen, von etwa 700 $\mu\mu$ Wellenlänge an, die die Empfindung Rot erregen, während Violett von den Strahlen kürzester Wellenlänge, bis ungefähr 400 $\mu\mu$, hervorgerufen wird. Zwischen diesen beiden Grenzen liegen die Strahlen, die unsere verschiedenen Farbenempfindungen erregen.

Die Farbenempfindungen sind indes nicht nur von der Wellenlänge des Lichtes, sondern auch von der Intensität desselben, von der Amplitude der Wellen, abhängig. Wird die Intensität der verschiedenen Spektralfarben so stark vermindert, daß sie nur von einem wenigstens 20 Min. im Dunkeln ausgeruhten Auge gesehen werden können, so zeigt sich das Spektrum farblos; nur die roten Farben treten noch mit einem schwach rötlichen Schimmer hervor. Außerdem sieht man, daß die relative Helligkeit der verschiedenen Farben im schwachen, farblosen Spektrum, im „Dämmerungsspektrum", verändert ist. Während ein ungeschwächtes Spektrum einer unserer gewöhnlichen Lichtquellen im Gelb (etwa bei 570 $\mu\mu$) am hellsten ist, liegt das Helligkeitsmaximum des Dämmerungsspektrums zwischen 530 und 540 $\mu\mu$.

Die Helligkeitsverhältnisse des Dämmerungsspektrums haben großes theoretisches Interesse, weshalb wir etwas näher darauf eingehen. Mittels dazu konstruierter Spektralapparate kann man ein größeres mit monochromatischem Lichte beleuchtetes Feld mit einem weißen Feld vergleichen und die Intensität der Spektralfarbe abschwächen, bis die beiden Felder gleich hell erscheinen. Mißt man nun für eine Reihe bestimmter Spektralfarben den Bruchteil des farbigen Lichtes, der gleich dem konstanten weißen Feld erscheint, so muß die Helligkeit jeder Farbe um so größer sein, je geringer die Lichtstärke ist, die die konstante Weißempfindung erregt. Die relative Helligkeit der verschiedenen Farben im Dämmerungsspektrum kann also den gefundenen Bruchteilen umgekehrt proportional gesetzt werden. Tab. 8 gibt die Resultate einer solchen von mir ausgeführten Reihe von Messungen an[1]. Das konstante weiße Vergleichsfeld hatte die Helligkeit $^1/_{375}$ Heffner-Einheit, d. h. die Helligkeit entsprach derjenigen einer mattweißen Fläche, die von einer Heffner-Lampe in 19,35 m Entfernung beleuchtet wird. Unter λ sind die Wellenlängen der untersuchten Farben, unter β die Bruchteile des in den Spektralapparat einfallenden Lichtes, die dem erwähnten weißen Licht gleich erschien, angegeben; die angeführten Werte β sind logarithmisch ausgeglichen. Die Lage des Minimumpunktes, bei $\lambda = 537$, ist nicht gemessen, sondern aus den Messungen

---

[1]) Über Apparat und Versuchsanordnung vgl. Lehmann: Elemente der Psychodynamik. S. 136 u. f. Die Genauigkeit der Messungen und die Methode der Ausgleichung sind angegeben in Lehmann: Psychologische Methodik. S. 55.

Bei den hier angeführten, so wie bei allen folgenden Messungen habe ich das neue, von mir konstruierte Spiegelepiskotister (vgl. Lehmann: Note relative à un episcotistère a miroirs, Bulletin de l'Académie de Danemark. 1909, S. 541 u. f.) angewendet, wodurch verschiedene, jedoch unerhebliche Fehler meiner älteren Bestimmungen korrigiert worden sind.

berechnet[1]). Nach dem oben Entwickelten können wir nun die relative Helligkeit H der verschiedenen Farben folgendermaßen bestimmen. Es seien β_l und β_λ die Werte des β, die den Wellenlängen l und λ entsprechen. Der Bruch $\frac{\beta_l}{\beta_\lambda}$ gibt dann an, wievielmal größer die Intensität der Farbe l sein muß, um dieselbe Helligkeit zu haben, als die der Farbe λ. Dieser Größe ist H umgekehrt proportional, also $H = \frac{\beta_\lambda}{\beta_l}$. Setzen wir $H = 1$ für $\lambda = 537$, kann die relative Helligkeit der übrigen Farben aus der Gleichung $H = \frac{0{,}000001901}{\beta}$ berechnet werden. Diese Größen sind in Tab. 8 unter H angegeben.

Tabelle 8.

Lehmann			König		Sehpurpur	
λ	β	H	λ	H	λ	α
670	0,001 147 000	0,0017	670	0,0045	680	0,007
650	385 100	0,0049	650	0,0127	660	0.004
630	95 700	0,0199	625	0,045	640	0,019
610	27 230	0,0697	605	0,118	620	0,029
590	9 333	0,204	590	0,237	600	0,071
570	3 758	0,506	575	0,446	580	0,120
550	2 188	0,869	555	0,841	560	0,377
537	1 901	1,000	535	1,000	540	0,665
530	1 905	0,998	520	0,891	520	0,920
510	2 851	0,667	505	0,591	500	1,000
490	7 161	0,265	490	0,339	480	0,866
470	23 990	0,0792	470	0,138	460	0.521
450	102 300	0,0186	450	0,041	440	0,180
430	0,000 660 700	0,0029	430	0,0089	420	0,020

Aus den Messungen Königs, die ungefähr derselben Helligkeit des Vergleichsfeldes wie die meinigen entsprachen, können analoge Werte der relativen Helligkeit berechnet werden[2]). In Tab. 8 sind ebenfalls diese Königschen Werte angeführt; die gemessenen Spaltwerte habe ich erst logarithmisch ausgeglichen und darauf die Werte H berechnet. Da König die maximale Helligkeit bei $\lambda = 535$ gefunden hat, ist die Helligkeit dieser Wellenlänge als Einheit genommen. Der sehr geringe Unterschied zwischen Königs Resultaten und den meinigen beruht zweifellos nur auf der Art der angewandten Lichtquellen. Wenn das weiße Licht eine verschiedene Zusammensetzung hat, was bei den besprochenen Messungen gewiß der Fall gewesen ist[3]), so müssen auch die Werte H verschieden ausfallen.

---

[1]) Lehmann: Psychologische Methodik. S. 42, Gleich. 24.

[2]) Über die Helligkeit der Spektralfarben. Helmholtz-Festschrift. 1891, S. 339. Das konstante Vergleichsfeld der König'schen Messungen war grün, 535 $\mu\mu$, was indes für diese Helligkeitsbestimmungen ohne Bedeutung ist.

[3]) Lehmann: Elemente der Psychodynamik. S. 154.

Schließlich sind in Tab. 8 für eine Reihe Spektralfarben die Absorptionskoeffizienten des Sehpurpurs der Säugetiere aufgeführt. Die angegebenen Zahlen sind aus den Messungen von Köttgen und Abelsdorff berechnet[1]), indem die maximale Absorption, bei $\lambda = 500$, als Einheit genommen ist.

Einen Überblick über die *Helligkeitsverteilung im Dämmerungsspektrum* gibt die Fig. 32. Als Abszisse sind die Wellenlängen, als Ordinate die relativen Helligkeiten, sowohl nach den Messungen Königs (K) als nach den meinigen (L), abgesetzt; außerdem ist die Absorption des Sehpurpurs (S) eingezeichnet. Die gegenseitige Lage dieser Kurven stimmt vollständig mit der Annahme überein, daß der Sehpurpur als Sensibilisator funktioniert. Bei Sensibilisierung photographischer Schichten mit verschiedenen Farbstoffen findet man nämlich konstant,

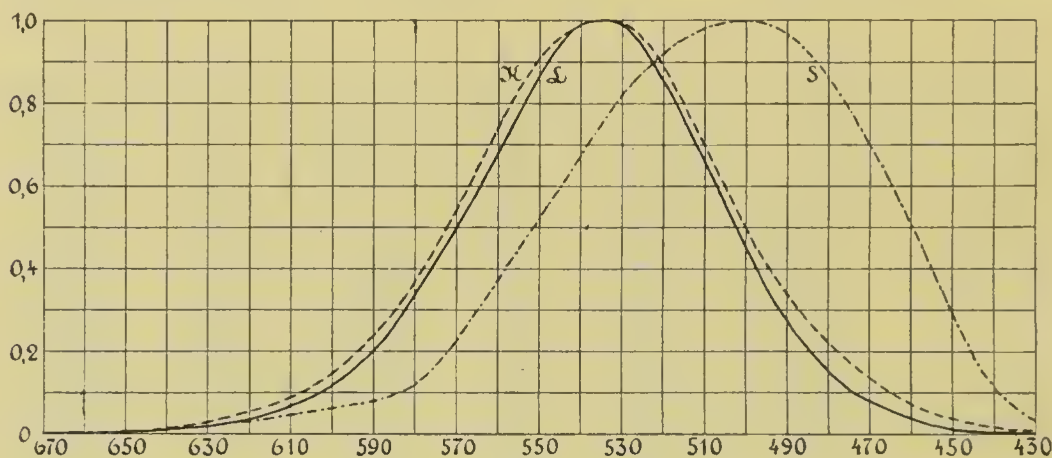


Fig. 32.

daß das Maximum der Sensibilität mit dem Absorptionsmaximum nicht zusammenfällt; die Wellenlänge, für welche die Schicht maximale Empfindlichkeit erreicht, ist stets 20—50 $\mu\mu$ größer als diejenige, die von einer Lösung des Farbstoffes am stärksten absorbiert wird[2]). Eben dieses zeigen unsere Kurven; das Helligkeitsmaximum liegt dem roten Ende des Spektrums um 35—37 $\mu\mu$ näher als das Absorptionsmaximum des Sehpurpurs. Diese Übereinstimmung zwischen der Netzhaut und der photographischen Schicht ist kaum eine Zufälligkeit; wir werden sofort im folgenden sehen, daß die Netzhaut in physikalischer Beziehung genau dieselben Gesetze befolgt wie die lichtempfindliche Schicht einer photographischen Platte.

Bei *größerer Intensität des Spektrums*, wo es eben in seiner

[1]) Zeitschrift für Psychologie. Bd. 12, S. 174.

[2]) Eder: Die chemischen Wirkungen des Lichtes. Halle 1891. S. 255 u. f.

ganzen Ausdehnung farbig erscheint, sieht man eigentlich nur fünf Farben. Das langwellige Ende des Spektrums ist rot, fast ohne Abstufungen, bis zu 590 $\mu\mu$; hier findet sich ein ganz schmaler Streifen Gelb, der unmittelbar ans Grün grenzt. Das Grün erstreckt sich, ebenfalls fast ohne Differenzen des Farbentons, bis zu 496 $\mu\mu$, wo ein schmaler Streifen Blau erscheint; der übrige kurzwellige Teil des Spektrums ist blauviolett. Wird die Intensität des Spektrums nun etwa tausendmal stärker, so verändert sich vollständig das Aussehen. Rot erstreckt sich jetzt nur bis zu 650 $\mu\mu$ und geht von hier durch Rotorange und Orange ins Gelb über. Gelb liegt jetzt zwischen 590 und 570 $\mu\mu$ und geht von hier aus durch zahlreiche grüngelbe und gelbgrüne Farbentöne ins Grün über. Das reine Grün bildet selbst nur einen schmalen Streifen etwa bei 510 $\mu\mu$; dann fängt Blaugrün an. Von 496 bis zu 445 $\mu\mu$ erscheinen jetzt die verschiedenen cyanblauen und indigoblauen Farbentöne statt des früheren Blauviolett, das sich gegen das kurzwellige Ende des Spektrums zurückgezogen hat. Die Veränderung besteht also hauptsächlich darin, daß sich Gelb und Blau auf Kosten des Rot, Grün und Violett ausgebreitet haben. Bei noch höherer Intensität setzt sich diese Bewegung fort; Rot wird rotorange, Grün stark weißlich, Violett fast indigoblau. Bei direkter Betrachtung der Sonne durch das Spektroskop wird der mittlere Teil des Spektrums schließlich so blendend, daß kaum von Farbenunterschieden die Rede sein kann [1]).

Es ist leicht nachzuweisen, daß die beschriebenen Veränderungen der Farbentöne einfache Konsequenzen der oben dargestellten Farbentheorie sind. Geht man davon aus, daß in den Zapfen drei Sehstoffe vorkommen, die für Rot, Grün und Blauviolett sensibilisiert sind, und bei deren Zersetzung die betreffenden Empfindungen entstehen, so folgen daraus die Farbenveränderungen des Spektrums bei wachsender Intensität nach bekannten physikalischen Gesetzen. Ist eine lichtempfindliche Schicht nämlich für bestimmte Farben sensibilisiert, so wirken bei geringer Intensität nur die dem Sensibilisationsmaximum entsprechenden Strahlen, und erst bei höherer Intensität fängt eine Wirkung der anderen Strahlen

---

[1]) Chodin: Über die Abhängigkeit der Farbenempfindung von der Lichtstärke. Jena 1877. Die hier angegebenen Farbenveränderungen weichen von den meinigen in einigen Punkten ab.

an. Eine gewöhnliche Bromsilber-Gelatineplatte ist für violette Strahlen sensibilisiert; wird sie nun außerdem, z. B. mittels Cyanin, für Rot sensibilisiert, so findet man, wenn ein lichtschwaches Spektrum damit photographiert wird, nur eine Wirkung im Rot und Violett. Fig. 33, *I* gibt eine graphische Darstellung dieses Verhältnisses. Als Abszisse ist die Wellenlänge, als Ordinate die Zersetzung des Bromsilbers abgesetzt; die Buchstaben oben bezeichnen die Lage der Frauenhofer'schen Linien. Die punktierten Kurven geben die Wirkung bei geringer Intensität an. Bei größerer Lichtstärke des Spektrums wird die Zersetzung des Bromsilbers selbstverständlich stärker, gleichzeitig fangen aber auch bisher unwirksame Strahlen an,

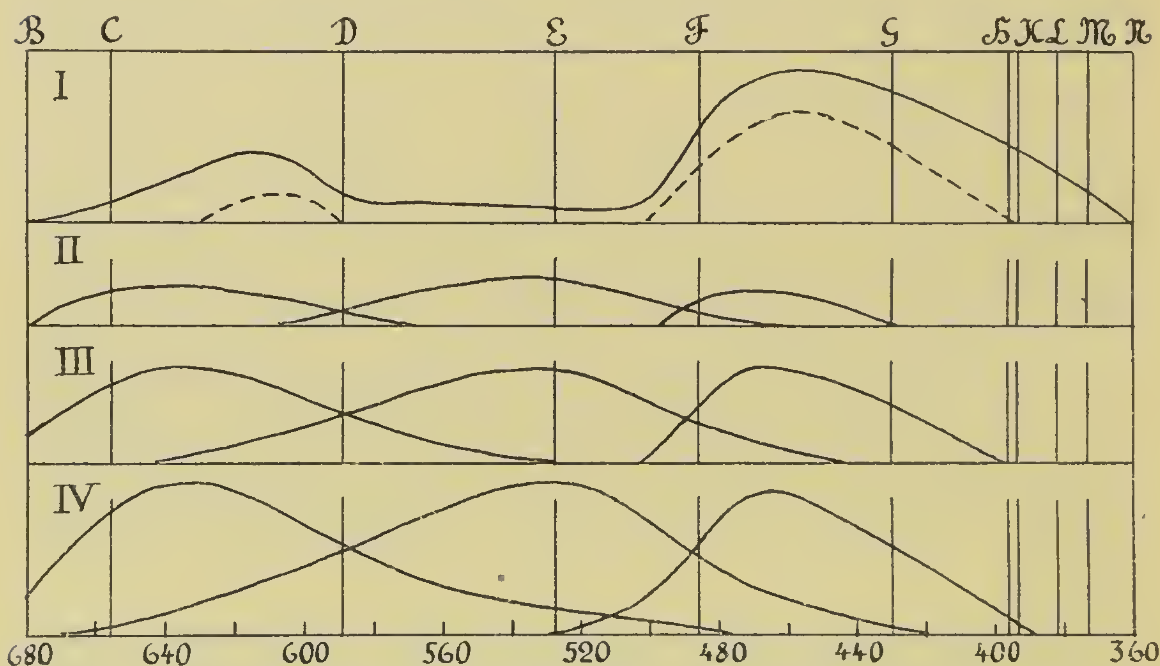


Fig. 33.

das Silbersalz zu zersetzen; die vollgezeichnete Kurve der Fig. 33, *I* gibt diese Wirkung an [1]).

Es ist hiernach klar, was in den Zapfen, der Theorie zufolge, stattfinden muß. Bei geringer Lichtstärke wirken Rot, Grün und Blauviolett fast ausschließlich je auf den Sehstoff ein, der für die betreffenden Strahlen sensibilisiert ist, und das ganze Spektrum ist daher rot an dem langwelligen, blauviolett an dem kurzwelligen Ende und grün in der Mitte. Nur die Strahlen um 590 $\mu\mu$ wirken sowohl auf die Rotsubstanz als auf die Grünsubstanz ein; hier entsteht daher Gelb. Ebenso wirken die Strahlen um 495 $\mu\mu$ sowohl auf die Grünsubstanz

[1]) Eder, a. a. O. S. 257, Fig. 38, 14.

als auf die Blausubstanz ein, und das Ergebnis wird eine Blauempfindung. Schematisch sind diese Verhältnisse in der Fig. 33, *II* dargestellt, wo die Kurven die Sensibilisation der drei Sehstoffe für die betreffenden Strahlen angeben. Bei größerer Lichtstärke des Spektrums wird die Zersetzung der Sehsubstanzen auch stärker, und gleichzeitig fangen die roten Strahlen an, die Grünsubstanz zu zersetzen, während umgekehrt die langwelligeren grünen Strahlen auf die Rotsubstanz einwirken. Diese Doppelwirkungen rufen die Empfindungen Rotorange, Orange, Gelb und Gelbgrün hervor. Analogen Veränderungen unterliegen die Wirkungen der kurzwelligen Strahlen, wodurch die Farbentöne zwischen Grün und Blauviolett entstehen. Schematisch sind die Verhältnisse in Fig. 33, *III* wiedergegeben. Bei den höchsten Intensitäten schließlich wirken fast sämtliche Strahlen auf die Grünsubstanz ein, während die Zersetzung der Rotsubstanz über Grün hinaus gegen Blau, die der Violettsubstanz wenigstens in das Grün hinein stattfindet. Die Folge hiervon wird, daß die gelblichen und bläulichen Farbentöne das Spektrum beherrschen, während die grünen Strahlen, die jetzt alle drei Substanzen zersetzen, ein weißliches Grün ergeben. Eine schematische Darstellung dieser letzten Intensitätsstufe gibt die Fig. 33, *IV*. Die Theorie ist also imstande, bekannten photochemischen Gesetzen gemäß, die Farbenvariationen des Spektrums zu erklären.

Eine fernere Konsequenz der Theorie, die mit dem eben Entwickelten in Verbindung steht, kann hier sofort erwähnt werden. Wenn Rot, Grün und Violett hauptsächlich durch die Einwirkung auf je einen Sehstoff entstehen, so kann das Spektrum auf diesen drei Strecken sein Aussehen nur wenig verändern. Die verschiedenen Wellenlängen des Grün z. B. geben dieselbe Empfindung, einfach weil sie alle fast nur denselben Sehstoff zersetzen, und ebenso verhalten sich Rot und Blauviolett. Dagegen wird eine kleine Veränderung der Wellenlänge im Gelb oder Blau sofort eine große Veränderung der Empfindung herbeiführen, weil diese Strahlen auf zwei Sehstoffe einwirken, und einer kleinen Veränderung der Wellenlänge entspricht eine bedeutende Veränderung des Verhältnisses zwischen den Mengen der zersetzten Sehstoffe (vgl. Fig. 33). An einem Spektrum mittlerer Helligkeit kann man sich schon ohne Messung davon überzeugen, daß die Farbentöne im Rot, Grün und Blauviolett viel langsamer wechseln als im Gelb und Blau. Übrigens ist die Tatsache schon längst von ver-

schiedenen Beobachtern, die alle zu dem nämlichen Ergebnis kamen, durch Messungen festgestellt[1]). Man bestimmt einfach, eine wie große Veränderung der Wellenlänge an verschiedenen Stellen des Spektrums nötig ist, um eine eben merkliche Veränderung des Farbentons hervorzubringen. In Tab. 9 gibt die erste Reihe die untersuchten Wellenlängen an, in den beiden folgenden ist die gemessene Veränderung derselben, $\triangle \lambda$, angeführt. Die Reihe *U* enthält die von *Uhthoff*, die Reihe *L* die von mir gefundenen Größen. In Fig. 34 sind die Resultate graphisch dargestellt, indem λ als Abszisse, $\triangle \lambda$ als Ordinate abgesetzt ist. Beide Kurven haben übereinstimmende Maxima in Rot, Grün und Violett, Minima in Gelb und Blau, wie es der Thorie zufolge zu erwarten stand.

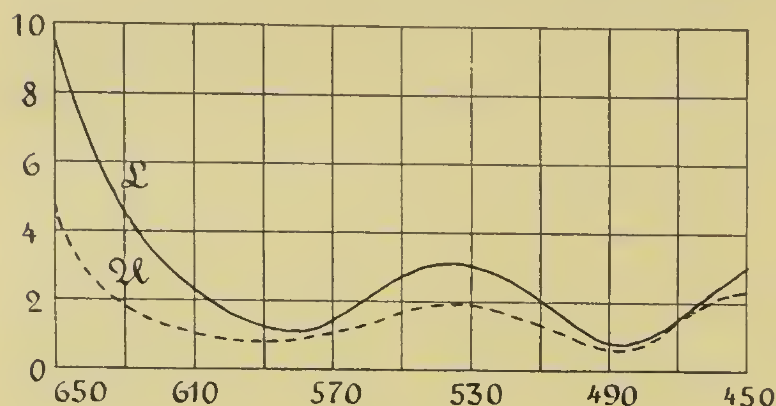


Fig. 34.

Tabelle 9.

$\lambda =$	650	630	610	590	570	550	530	510	490	470	450
U.	4,70	1,68	1,08	0,91	1,10	1,66	1,88	1,29	0,72	1,57	2,15
L.	9,5	4,5	2,3	1,2	1,3	2,7	3,0	2,0	0,75	1,5	3,0

Die Unterschiede der beiden Reihen der Tab. 9 können verschiedene Ursachen haben. Individuelle Differenzen der Farbenempfindlichkeit kommen natürlich vor, spielen jedoch hier gewiß nur eine Nebenrolle. Wesentlicher ist der Umstand, daß Uhthoff zwar die zu vergleichenden Farben auf dieselbe Helligkeit abstufte; diese Helligkeit war aber für die verschiedenen Farben nicht dieselbe. Ich habe dagegen die Intensität der verschiedenen Farben so herabgesetzt, daß sämtliche Farben gleich hell ($R_w = 16\,384$ des später zu besprechenden Maßsystems) erschienen. Hierzu kommt schließlich, daß ein eben merklicher Unterschied für verschiedene Beobachter durchaus nicht dieselbe Bedeutung hat. Man kann einen

[1]) Mandelstamm: Archiv für Ophthalmologie, Bd. 13. Dobrowolsky: Archiv für Ophthalmologie, Bd. 18. Uhthoff: Archiv für Ophthalmologie, Bd. 34.

Unterschied zwischen zwei Farben sehen ohne entscheiden zu können, ob es ein Unterschied des Farbentons oder möglicherweise nur eine unausgeglichene Helligkeitsdifferenz ist. Ich habe stets den Unterschied so groß gemacht, daß ich dessen sicher war, in welcher Richtung die veränderliche von der konstanten Farbe abwich; wohl hauptsächlich deshalb sind meine Werte größer als die der früheren Beobachter.

Wie die Farbentöne, verändert sich auch die relative Helligkeit der verschiedenen Farben mit der Lichtstärke des Spektrums (das Purkinje'sche Phänomen). Es ist leicht ersichtlich, daß ebenfalls diese Tatsache eine einfache Konsequenz der Theorie ist. Bei geringer Intensität ist die Helligkeit der Farben durch das Sensibilisationsvermögen des Sehpurpurs bestimmt, und das Maximum der Helligkeit liegt, wie wir sahen, im Grün. Bei größerer Lichtstärke fangen die Farbenstrahlen an, auf die Zapfen einzuwirken; damit hört die Erregung der Stäbchen natürlich nicht auf, nur wird die Bedeutung der letzteren um so geringer, je höher die Intensität, weil der Sehpurpur bei hoher Lichtstärke schnell bleicht und untätig wird. Je höher die Intensität, umsomehr wird also die Helligkeit der Farben von der Sensibilisation der verschiedenen Sehstoffe in den Zapfen bestimmt, und es steht mithin zu erwarten, daß das Helligkeitsmaximum, und damit die relative Helligkeit aller Farben, sich verschieben wird. In welcher Richtung die Verschiebung stattfindet, läßt sich nicht im voraus sagen; die Steigung der Helligkeit der verschiedenen Farben bei Zunahme der Lichtstärke ist durchaus von der Natur der hypothetischen Sensibilisatoren abhängig. Betrachtet man nämlich die Fig. 33, *I*, die faktische Verhältnisse darstellt, so sieht man, daß die Wirkung des Lichtes von der Wellenlänge 630 $\mu\mu$ bei geringer Intensität (durch die punktierte Kurve angegeben) ganz verschwindend ist im Vergleich mit der Wirkung der Wellenlänge 610 $\mu\mu$, die dem Sensibilisationsmaximum entspricht. Bei höherer Intensität (durch die vollgezeichnete Kurve angegeben) ist die Wirkung von 630 $\mu\mu$ dagegen fast dieselbe wie die des Lichtes 610 $\mu\mu$. Ähnliche Verhältnisse sind auch in der Netzhaut zu erwarten, und da man die Natur der hypothetischen Sensibilisatoren nicht kennt, läßt sich das Verhalten der Farben nur durch Messungen feststellen.

Auf dieselbe Weise, wie wir oben die Reizstärken der verschiedenen Farben bestimmten, die einem wenig intensiven weißen Lichte gleich erschienen, können wir analoge Messungen

bei jeder höheren Intensität des weißen Lichtes ausführen. Die Vergleichung des monochromatischen Lichtes mit dem Weiß wird zwar subjektiv schwieriger, sobald das erstere farbig erscheint, und die Genauigkeit der Bestimmungen wird selbstverständlich hiervon beeinflußt; prinzipielle Bedeutung hat diese Tatsache aber nicht. Bei solchen Untersuchungen hat es sich indes erwiesen, *daß die Helligkeit eines farbigen Lichtes beim Vergleich mit Weiß auf zwei wesentlich verschiedene Weisen sich beurteilen läßt.* Entweder vergleicht man einfach ohne Rücksicht auf den Farbenton das Leuchten der Farben, die Stärke der Empfindungen, oder aber man beurteilt die „Gräulichheit“ der farbigen Flächen, die Entfernung der betreffenden Farben vom Weiß [1]). Die erstere Beobachtungsweise gelingt am besten, wenn man die farbigen, zu vergleichenden Felder nicht fixiert; akkommodiert man das Auge für einen fernen Punkt, so daß sich unscharfe Bilder auf der Netzhaut zeichnen, so sieht man fast gar nicht die Farbe und bestimmt leicht den Punkt, wo das Gesichtsfeld gleichmäßig erleuchtet ist. Hat man sich erst daran gewöhnt, auf gleich leuchtende Farben einzustellen, gelingt die Bestimmung der gleichen Gräulichheit leicht. Man macht dann die Farbe bedeutend heller als das damit zu vergleichende Weiß, so daß letzteres dunkel, gräulich aussieht, und fixiert scharf die beleuchteten Felder. Hierdurch werden diese zunächst als materielle, pigmentierte Flächen aufgefaßt, und man kann dann durch Variation der Lichtstärke den Punkt finden, wo das vorgestellte graue Pigment eben so dunkel ist als die Farbe. Was bestimmt wird, ist also eben die „Gräulichheit“, die Entfernung der Farbe vom Weiß. Da weißes Licht aber nur als Grau aufgefaßt wird, wenn es von grauen Pigmenten reflektiert oder neben helleren Feldern gesehen wird, so beweist das gräuliche Aussehen des Weiß bei der letzterwähnten Beobachtungsweise, daß die Farbe tatsächlich heller, leuchtender ist. Die Einstellung auf gleiche Gräulichheit ergibt daher immer — ein konstantes, weißes Vergleichslicht vorausgesetzt — größere Intensitäten der farbigen Lichter als die Einstellung

---

[1]) Langfeld: Über die heterochrome Helligkeitsvergleichung. Zeitschrift für Psychologie, Bd. 53. 1909, S. 126 u. f. Vgl. Lehmann: Helligkeitsvariation der Farben. Wundts Phil. Studien, Bd. 20. 1902, S. 106, wo die Möglichkeit verschiedener Einstellungen schon angedeutet ist. Meine im folgenden angegebenen Messungen sind in den Jahren 1904—1908 ausgeführt.

auf gleiches Leuchten. *Die gleich leuchtenden Farben entsprechen der subjektiv gleichen Lichtstärke; sie sind einfach gleich starke Empfindungen.* Die gleich gräulichen Farben sind zwar auch von der Empfindungsstärke, zugleich aber von der Ähnlichkeit zwischen den Farben und Weiß, d. h. von der Sättigung der Spektralfarben, abhängig. Auf diesen letzteren Punkt kommen wir später zurück; vorläufig betrachten wir nur die gleich leuchtenden Farben.

Wir haben schon oben (S. 109) gesehen, daß die Abhängigkeit der Erregung E eines Nerven von der Reizstärke R sich bei konstanter Reizdauer durch die Gleichung:

$$E = c \cdot log \cdot \left(1 + \frac{R}{\varkappa}\right) \quad \ldots\ldots\ldots \text{(Gl. 29)}$$

annähernd ausdrücken läßt. Haben nun zwei verschiedene Empfindungen dieselbe Intensität, dann steht, dem Gesetz der konstanten Proportionen zufolge (S. 36), zu erwarten, daß die entsprechenden Nervenerregungen auch gleich stark sind. Es seien R_w die Reizstärke des weißen Vergleichsfeldes, R_λ die der Spektralfarbe, dann muß also:

$$E = c_w \cdot log \frac{\varkappa + R_w}{\varkappa} = c_\lambda \cdot log \frac{\varkappa' + R_\lambda}{\varkappa'}.$$

Die Größen $\varkappa$ und $\varkappa'$ kennen wir in jedem einzelnen Falle nicht, sie sind aber so klein, daß sie fast immer im Verhältnis zu den größeren Werten des R_w und R_λ vernachlässigt werden können. Sind also R_w und R_λ die Intensitäten zweier Farben, die gleich leuchtend erscheinen, so gilt annähernd das Gesetz:

$$c_w log R_w = c_\lambda log R_\lambda \quad \text{oder} \quad \frac{log R_w}{log R_\lambda} = \frac{c_\lambda}{c_w} = A \ .\ . \ \text{(Gl. 30)}.$$

Wenn zwei Farben gleich leuchtend erscheinen, ist das Verhältnis A zwischen den Logarithmen der Reizstärken annähernd konstant. Die Gültigkeit dieses Satzes geht aus den in Tab. 10 angeführten Messungen hervor. Unter R_w sind die Intensitäten des weißen Vergleichslichtes, unter R_λ die entsprechenden gemessenen Intensitäten der Spektralfarben, und unter A die hieraus nach Gleich. 30 berechneten Werte angeführt.

Als Einheit der Intensität ist hier, sowie bei allen folgenden Messungen, die oben (S. 198) erwähnte Größe, $^1/_{375}$ Heffner-Einheit, genommen. Bei jeder Intensität des weißen Vergleichslichtes ist für jede der untersuchten Spektralfarben der Bruchteil des einfallenden Lichtes bestimmt, bei welchem die Farbe ebenso stark leuchtete wie

das Vergleichsfeld. Die Bestimmungen wurden mit konstanter Reizdauer, 5 Sek., ausgeführt; die Zahlen sind Mittel aus je zehn Einzelmessungen. Für die Helligkeit $R_w = 1$ sind schon früher die entsprechenden Werte β der Spektralfarben (Tab. 8) angegeben; für die Helligkeiten $R_w = 4$, 16, 64 usw. erhalten wir jetzt eine Reihe Werte γ, δ, ε usw. Wird für jede Farbe der entsprechende Wert β als Einheit genommen, so bedeuten also die Brüche $\frac{\gamma}{\beta}$, $\frac{\delta}{\beta}$, $\frac{\varepsilon}{\beta}$ usw. die Intensitäten R_λ einer bestimmten Farbe, die ebenso leuchtend wie die Werte R_w erscheinen. Da die in Tab. 8 angeführten Werte β dieselbe Helligkeit haben wie die Einheit des weißen Lichtes, so sind auf diese Weise alle unsere Intensitäten in gleich hellen, „isoluziden“ Einheiten ausgedrückt. Hierdurch wird erreicht, daß die gefundenen Werte R_λ unabhängig von der Art der angewandten Lichtquelle sind. Wird ein Mal Sonnenlicht, ein anderes Mal Petroleumlicht angewandt, so sind die gefundenen Werte β, die dem konstanten weißen Licht $R_w = 1$ gleich erscheinen, selbstverständlich für die beiden Lichtquellen ganz verschieden. Es seien β_s der für Sonnenlicht, β_p der für Petroleumlicht gefundene Wert, und nehmen wir an, daß $\beta_s = n \cdot \beta_p$. Finden wir nun beim Vergleich mit $R_w = 4$, die Werte γ_s bzw. γ_p, so wird auch $\gamma_s = n \cdot \gamma_p$. Dann ist aber: $R_\lambda = \frac{\gamma_s}{\beta_s} = \frac{n \cdot \gamma_p}{n \cdot \beta_p} = \frac{\gamma_p}{\beta_p}$, d. h. R_λ ist konstant, unabhängig von der Art der Lichtquelle. Auf diese Weise, durch Division der gemessenen Bruchteile mit den in Tab. 8 angeführten Werten β, sind die Werte R_λ der Tab. 10 bestimmt.

Betrachtet man die Tab. 10, so ist ersichtlich, daß die Werte A bei solchen Intensitäten, wo die monochromatischen Lichter noch farblos erscheinen, nur wenig von 1 abweichen; diese Werte sind in der Tabelle fett gedruckt. Da die Helligkeit der Farben bei diesen Intensitäten ausschließlich durch die Sensibilität des Stäbchenapparates bestimmt ist, so geht also hieraus hervor, daß diese vom Sehpurpur abhängige Sensibilität für weißes Licht und für die betreffenden Farben nur wenig voneinander abweichen. Sobald aber die farbigen Lichter farbig gesehen werden, ist ihre Helligkeit durch die gesamte Wirkung der drei hypothetischen Sensibilisatoren bestimmt, und dann erhält A für jede Wellenlänge einen besonderen Wert. Wie zu erwarten war (Gl. 30), ist A aber bei konstanter Wellenlänge annähernd konstant, von der Intensität unabhängig. Man findet jedoch durchweg, daß A mit wachsendem R_w entweder anfangs wächst, um später abzunehmen, oder anfangs abnimmt, um dann ungefähr konstant zu werden. Dies kann jedenfalls davon herrühren, daß der Stäbchenapparat bei den niedrigeren Intensitäten noch mitwirkt, so daß die Erregung hier auch von dem Sehpurpur abhängig ist. Die

Tabelle 10.

R_w	λ = 670 R	λ = 670 A	λ = 670 ber. R	λ = 650 R	λ = 650 A	λ = 650 ber. R	λ = 630 R	λ = 630 A	λ = 630 ber. R	λ = 610 R	λ = 610 A	λ = 610 ber. R	λ = 590 R	λ = 590 A	λ = 590 ber. R
4	2,25	1,710	2,2	2,33	1,640	2,3	3,07	1,236	2,5	**3,68**	**1,063**		**4,09**	**0,984**	
16	4,58	1,821	4,7	4,68	1,798	5,3	8,41	1,302	6,2	9,52	1,229	7,7	**10,28**	**1,119**	
64	9,37	1,857	10,3	9,50	1,846	12,1	16,87	1,471	15,6	18,7	1,420	21,2	26,4	1,270	28,0
256	18,7	1,893	22,5	20,3	1,840	27,7	28,1	1,662	38,9	55,1	1,382	58,6	65,9	1,324	89,1
1 024	47,5	1,796	49,1	57,1	1,713	63,4	60,4	1,690	97,1	116	1,458	162	215	1,290	274
4 096	107,6	1,777	106,9	136,4	1,690	145,5	151,4	1,656	242	418	1,377	449	600	1,300	841
16 384	267	1,736	233	433	1,597	334	543	1,540	605	1 250	1,360	1242	2 278	1,256	2 585
65 536	813	1,654	508	1547	1,509	766	2224	1,438	1511	4 860	1,305	3436	7 220	1,248	7 943
262 144							9400	1,364	3772	23 100	1,240	9515	48 200	1,156	24 410

R_w	λ = 570 R	λ = 570 A	λ = 570 ber. R	λ = 550 R	λ = 550 A	λ = 550 ber. R	λ = 530 R	λ = 530 A	λ = 530 ber. R	λ = 510 R	λ = 510 A	λ = 510 ber. R	λ = 490 R	λ = 490 A	λ = 490 ber. R
4	**4,06**	**0,989**		**3,99**	**1,000**		**4,17**	**0,971**		**4,00**	**1,000**		**3,94**	**1,010**	
16	**15,0**	**1,024**		**14,75**	**1,030**		**14,06**	**1,048**		**15,07**	**1,021**		**16,15**	**0,997**	
64	40,0	1,127	40	49,5	1,064	54,5	**59,4**	**1,018**		**56,2**	**1,031**		**65,7**	**0,993**	
256	125,5	1,146	136	202,4	1,044	207	266,7	0,992	274	258,2	0.993	332	318	0,959	365
1 024	428	1,144	461	800	1,036	784	1 312	0,966	1 114	1 235	0,975	1 419	1 508	0,952	1 594
4 096	1 338	1,155	1 573	3 260	1,028	2 977	4 710	0,982	4 533	6 105	0,954	6 059	9 320	0,910	6 966
16 384	5 130	1,135	5 365	12 060	1,032	11 280	17 370	0,994	18 440	29 800	0,942	25 870	32 700	0,933	30 450
65 536	20 370	1,118	18 300	43 300	1,039	42 780	78 600	0,983	75 020	111 200	0,953	110 500	125 500	0,944	133 000
262 144	97 150	1,086	62 400	256 800	1,001	162 200	369 000	0,972	305 200						

R_w	λ = 470 R	λ = 470 A	λ = 470 ber. R	λ = 450 R	λ = 450 A	λ = 450 ber. R	λ = 430 R	λ = 430 A	λ = 430 ber. R
4	**4,16**	**0,972**		**4,32**	**0,948**		**4,25**	**0,958**	
16	**16,30**	**0,995**		**15,70**	**1,006**		**17,34**	**0,972**	
64	**64,2**	**0,999**		67,1	0,980	71,9	39,2	1,134	43,7
256	349	0,946	379	290	0,978	299	133	1,133	154
1 024	1 877	0,918	1 671	1792	0,952	1242	578	1,090	572
4 096	7 530	0,932	7 372	5032	0,976	5162			
16 384	37 500	0,921	32 530						

Schwankungen sind indes nicht größer, als daß man für jede Wellenlänge die Werte A, die den farbig erscheinenden Reizlichtern entsprechen, zu Mittelwerten vereinigen kann. Die so berechneten und ausgeglichenen Werte A sind in Tab. 11 zusammengestellt; sie geben uns also ein Bild der gesamten Sensibilität des Zapfenapparates. In der Fig. 35 sind diese Werte A durch die vollgezeichnete Kurve L graphisch dargestellt, indem die Wellenlängen als Abszisse, A als Ordinate abgesetzt sind.

Werden die Werte A der Tab. 11 in die Gleich. 30 eingesetzt, können die Werte R_λ berechnet werden. Diese berechneten Werte sind in Tab. 10 unter „*ber. R*" angeführt und stimmen durchweg gut mit den gefundenen überein. Nur bei den höchsten Intensitäten kommen selbstverständlich größere Abweichungen vor; die Gleich. 30 kann nur annähernde Gültigkeit beanspruchen.

Tabelle 11.

λ	König	Ritter	Lehmann			
			λ	*A*	*B*	*S*
670	2,281	1,335	670	1,780	1,610	0,060
650	2,040	1,324	650	1,670	1,477	0,077
625	1,709	1,267	630	1,515	1,350	0,080
605	1,433	1,194	610	1,362	1,228	0,079
590	1,267	1,166	590	1,235	1,118	0,084
575	1,164	1,124	570	1,130	1,045	0,072
555	1,054	1,046	550	1,040	0,995	0,044
535	1,000	1,000	537	1,000		
520	0,971	0,966	530	0,988	0,941	0,050
505	0,955	0,934	510	0,955	0,906	0,057
490	0,928	0,911	490	0,940	0,875	0,079
470	0,935	0,903	470	0,934	0,862	0,090
450	0,961	0,874	450	0,973	0,889	0,098
430	0,018	0,878	430	1,101	0,979	0,113

Aus den Messungen Königs geht, wie ich schon früher nachgewiesen habe [1]), ebenfalls hervor, daß die Werte A für jede Spektralfarbe eine Konstante sind. In Tab. 11 sind diese Werte, sowohl aus den Messungen Königs als aus denjenigen des protanopen Ritters berechnet, angegeben; in Fig. 35 sind sie außerdem durch die Kurven K und R graphisch dargestellt. Zwar verbürgt uns nichts, daß König und Ritter nur auf das

---

[1]) König: Über die Helligkeit der Spektralfarben, S. 339. Vgl. Lehmann Über die Helligkeitsvariationen der Farben, S. 100.

Leuchten der Farben eingestellt haben, so daß ihre Werte A genau den meinigen entsprechen; da aber die Werte Königs durchweg größer als die meinigen sind, wird eine übereinstimmende Einstellung hier äußerst wahrscheinlich; hätte König nämlich auf die Gräulichheit eingestellt, müßten seine Werte A kleiner ausgefallen sein. Von den Werten Ritters wird später die Rede sein (Kap. 31).

Der Unterschied zwischen Königs Werten A und den meinigen beruht zweifellos auf individuellen Differenzen. König hat nämlich gefunden, daß selbst völlig normale, farbentüchtige Augen erhebliche Unterschiede in betreff der Helligkeitsverteilung im Spektrum aufweisen können[1]), und dasselbe

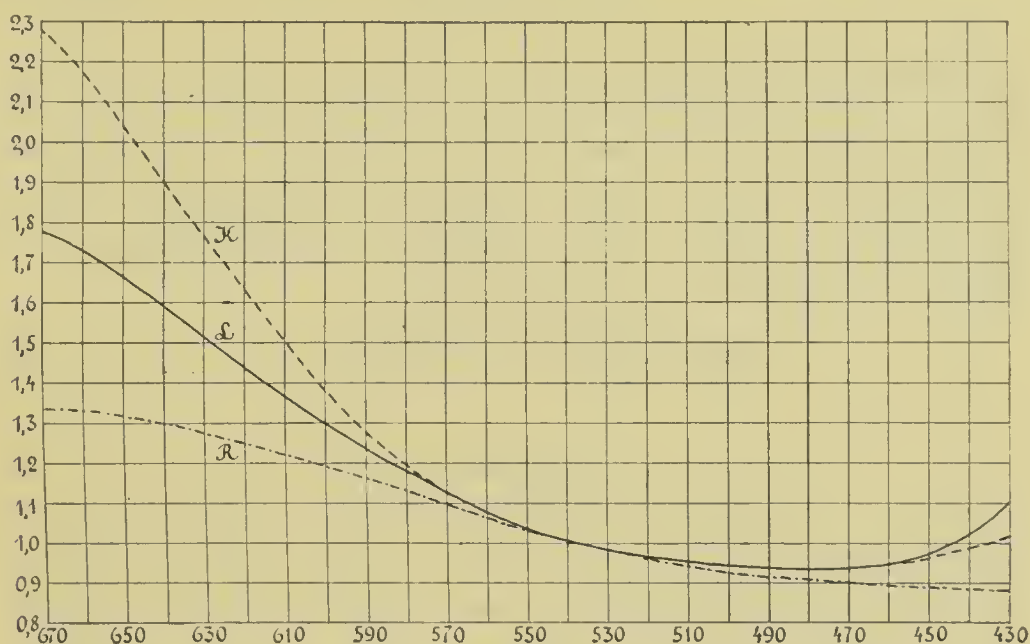


Fig. 35.

geht aus den Untersuchungen Langfelds hervor, wo die verschiedenen Beobachtungsweisen bei der Helligkeitsvergleichung berücksichtigt sind[2]). Der zwischen dem Auge Königs und dem meinigen vorkommende Unterschied läßt sich, der Fig. 35 zufolge, darauf zurückführen, daß Königs Auge für Rot viel stärker, für Violett dagegen weniger als das meinige sensibilisiert ist. Analoge Unterschiede der Sensibilisation kommen dann wahrscheinlich in den meisten normalen Augen vor.

Wie wir oben (S. 199) die relative Helligkeit der Farben im Dämmerungsspektrum bestimmten, können wir jetzt eine analoge

[1]) König: a. a. O. S. 347 und Taf. V.
[2]) Langfeld: a. a. O. S. 144 u. f.

Berechnung für jede beliebige Intensitätsstufe durchführen. Es seien R_l unh R_λ die Reizstärken zweier gleich hell erscheinenden Farben, β_l und β_λ die entsprechenden Werte der Einheiten (Tab. 8). Die Produkte $\beta_l \cdot R_l$ und $\beta_\lambda \cdot R_\lambda$ geben dann die Bruchteile der betreffenden monochromatischen Lichter an, die gleich stark leuchten. Wird die Helligkeit der Farbe l als Einheit genommen, so ist die relative Helligkeit H_λ der Farbe λ: $H_\lambda = \frac{\beta_l \cdot R_l}{\beta_\lambda \cdot R_\lambda}$. Als festes Vergleichsglied können wir $l = 567\,\mu\mu$ nehmen, weil diese Farbe in der Mitte der Strecke liegt, wo das Helligkeitsmaximum überhaupt vorkommt. Setzen wir daher $l = 567$, so erhalten wir als allgemeinen Ausdruck für die Helligkeit einer beliebigen Farbe mit der des Gelb 567 $\mu\mu$ als Einheit:

$$H_\lambda = \frac{\beta_{567} \cdot R_{567}}{\beta_\lambda \cdot R_\lambda} \quad \text{. . . . . (Gl. 31).}$$

Aus Gleich. 30 folgt ferner: $\log R_\lambda = \frac{1}{A} \cdot \log R_w$ oder $R_\lambda = R_w^a$, indem $\frac{1}{A} = a$ gesetzt wird. Da man ferner für R_{567} $a = 0{,}898$ hat (mittels der Werte der Tab. 11 durch Interpolation berechnet), so ist also $R_{567} = R_w^{0,898}$. Werden diese Ausdrücke des R_λ und R_{567} in die Gleich. 31 eingesetzt, so erhalten wir:

$$H_\lambda = \frac{\beta_{567} \cdot R_w^{0,898}}{\beta_\lambda \cdot R_w^a} = \frac{\beta_{567}}{\beta_\lambda} \cdot R_w^{0,898 - a} \quad \text{. . . . . (Gl. 32).}$$

Tabelle 12.

λ	$R_w = 1$	16	256	4096	65 536	262 144
670	0,0026	0,0075	0,021	0,060	0,170	0.287
650	0,0086	0,022	0,055	0,139	0,353	0,561
630	0,0346	0,072	0,151	0,316	0.661	0,955
610	0,122	0,203	0,337	0,562	0,935	1,208
590	0.355	0,467	0,614	0,809	1,064	1,219
570	0,881	0,916	0,953	0,989	1,028	1,050
550	1,514	1,253	1,038	0,861	0,713	0,649
530	1,738	1,225	0,863	0,610	0,430	0,361
510	1,161	0,740	0,471	0,299	0,191	0,152
490	0,462	0,279	0,168	0,101	0,061	0,047
470	0,138	0,082	0,048	0,028	0,017	0,013
450	0,032	0,022	0,015	0,010	0,0068	0,0056
430	0,0050	0,0049	0,0047	0,0045	0,0040	0,0039

Nach Gleich. 32 sind die Helligkeiten der Farben für $R_w = 1$, 16, 256, 4096, 65 536 und 262 144 berechnet, indem die Werte A der Tab. 11 eingesetzt sind; die Werte β sind die der Tab. 8. Die berechneten Helligkeiten sind in Tab. 12 wiedergegeben, und die Resultate sind graphisch in Fig. 36

dargestellt, wo als Abszisse die Wellenlänge, als Ordinate die Werte H_λ genommen sind. Die Figur zeigt, wie das Helligkeitsmaximum, das bei den niedrigsten Intensitäten im Grün liegt, sich sofort gegen Gelb verschiebt, wenn die Tätigkeit der Zapfen anfängt, was der Tab. 10 zufolge etwa bei $R_w = 64$ stattfindet. Bei den höheren Intensitäten sinkt die Helligkeit des Grün fortwährend, während die des Rot steigt, so daß das Maximum schließlich im Orange liegt. Da die Helligkeit des Gelb 567 $\mu\mu$ willkürlich als Einheit genommen ist, schneiden sich alle Kurven in diesem Punkte. Die Helligkeitsverteilung

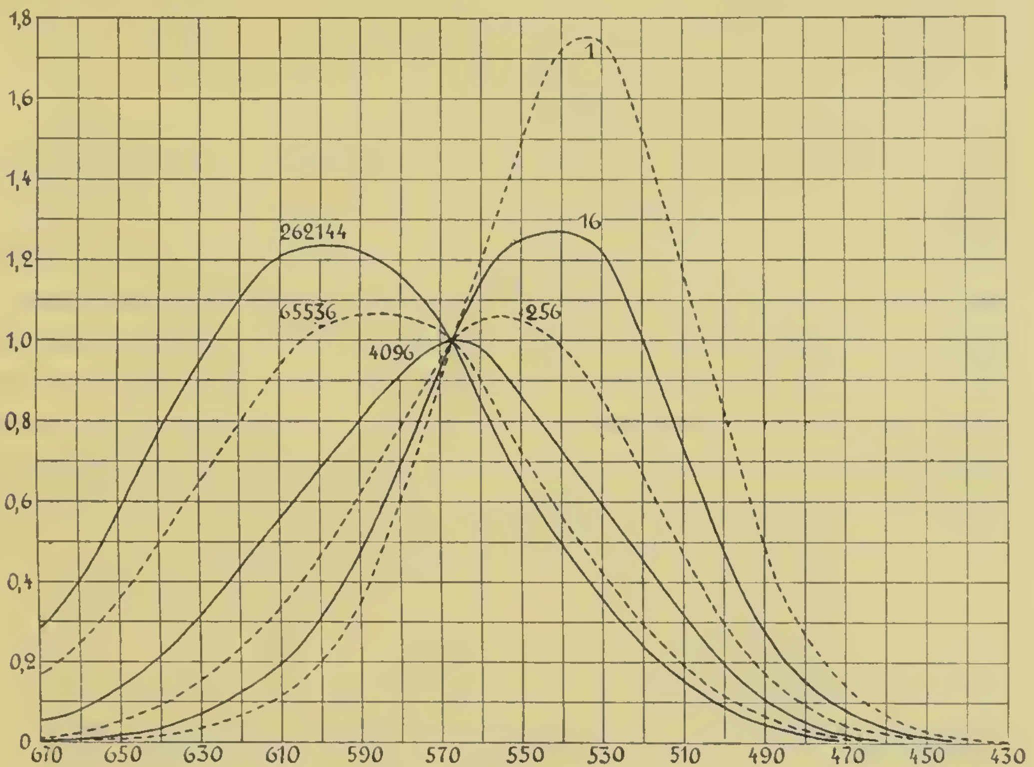


Fig. 36.

der Fig. 36 entspricht in allem wesentlichen derjenigen, die König aus seinen Messungen abgeleitet hat[1]).

Wie schon oben erwähnt, können die Helligkeitsveränderungen der Farben bei wachsender Intensität der Theorie zufolge dadurch erklärt werden, daß die Stäbchen mit wachsender Intensität des Lichtes weniger tätig werden, während gleichzeitig die gesamte Tätigkeit der Sensibilisatoren des Zapfenapparates immer mehr die Helligkeitsverhältnisse bestimmt. Die Helligkeit des Spektrums ist also auf jeder Intensitätsstufe durch diese beiden Faktoren bestimmt. Nach Gleich. 32

---

[1]) König: a. a. O. Tab. III.

ist indes H_λ bei gegebener Intensität R_w nur von zwei Größen abhängig, nämlich $\frac{\beta_{567}}{\beta_\lambda}$ und $a = \frac{1}{A}$. Die erstere ist, wie wir oben (S. 200) gesehen haben, eine von der Absorption des Sehpurpurs abhängige Größe. Es kann daher kaum einem Zweifel unterliegen, daß *die Werte A das Maß für die gesamte Wirkung der verschiedenen Sensibilisatoren des Zapfenapparates ist,* wie wir es eben im vorhergehenden angenommen haben. Diese Werte haben mithin eine nicht geringe theoretische Bedeutung, indem sie uns darüber Aufschluß geben können, ob gewisse Anomalien des Farbensinnes von der Sensibilisierung der Zapfen herrühren, oder ob die Ursache in den Sehstoffen gesucht werden muß (vgl. Kap. 31).

Betrachten wir schließlich kurz die Resultate, die erhalten werden, wenn die zweite der oben erwähnten Beobachtungsweisen, nämlich die *Einstellung auf gleiche Gräulichheit,* auf gleiche Entfernung von Weiß, angewendet wird. Zuvörderst findet man, daß zwischen den Ergebnissen der beiden Beobachtungsweisen bei denjenigen Intensitäten kein Unterschied besteht, wo die monochromatischen Lichter farblos erscheinen; in diesem Falle läßt sich nur auf Identität einstellen. Da kein Farbenunterschied vorkommt, ist gleiche Helligkeit einfach Identität. Sobald aber ein Farbenunterschied merklich wird, kann eine Einstellung auf Gräulichheit stattfinden, und, wie schon oben erwähnt, werden die bei dieser Einstellung gefundenen Reizstärken immer größer als die dem gleichen Leuchten entsprechenden. Es sei R'_λ der im ersteren Falle, R_λ der im letzteren Falle gefundene Wert, indem das Vergleichsfeld konstant R_w ist. Die Messungen ergeben dann stets $R'_\lambda > R_\lambda$, und außerdem findet man, daß die Werte R'_λ demselben Gesetze unterliegen wie die Werte R_λ, indem:

$$\frac{\log R_w}{\log R'_\lambda} = B \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \text{(Gl. 33).}$$

Da $R'_\lambda > R_\lambda$ ist, so wird mithin $B < A$, was aus Tab. 11 ersichtlich ist, wo die gefundenen Werte B aufgeführt sind. Man sieht ferner leicht, daß R'_λ nicht dem R_λ proportional wächst. Gleich. 30 zufolge ist $\frac{1}{A} = \frac{\log R_\lambda}{\log R_w}$, und Gleich. 33 zufolge ist $\frac{1}{B} = \frac{\log R'_\lambda}{\log R_w}$; man hat daher:

$$S = \frac{1}{B} - \frac{1}{A} = \frac{\log R'_\lambda}{\log R_w} - \frac{\log R_\lambda}{\log R_w} = \frac{1}{\log R_w} \log \frac{R'_\lambda}{R_\lambda} \quad \ldots\ldots \text{(Gl. 34).}$$

Da B und A für eine gegebene Farbe konstant sind, muß $\frac{R'_\lambda}{R_\lambda}$ mit wachsenden Werten R_w zunehmen. *Die Reizstärken der beiden verschiedenen Helligkeitseinstellungen wachsen mit zunehmender Lichtstärke nicht in demselben Verhältnis.*

Die Größe S der Gleich. 34 ist eine Konstante, deren Wert indes von der Wellenlänge abhängig ist. Aus Tab. 11 ist ersichtlich, daß S ein Minimum im Grün hat und von da aus sowohl mit wachsender als mit abnehmender Wellenlänge schnell wächst; im Violett und Rotorange wird das Maximum erreicht, und an dem roten Ende des Spektrums sinken die Werte wieder. Nun ist aber eben die Sättigung der Spektralfarben am kleinsten im Grün und am größten im Violett, so daß diese Beurteilung „der Entfernung von Weiß" wahrscheinlich von der Sättigung der Farben beeinflußt wird. Das Sinken der Werte S im Rot rührt aber besonders davon her, daß die Netzhaut für Rot so stark sensibilisiert ist, daß schon eine geringe Zunahme der Reizstärke genügt, um eine bedeutende Zunahme des Leuchtens, der Empfindungsstärke, herbeizuführen. R'_λ wird daher nur wenig von R_λ verschieden, und damit sinken die Werte S (Gleich. 34). *Die Beurteilung der Helligkeit nach der Gräulichheit der Farben ist also nicht nur von der Intensität der Empfindungen, sondern wahrscheinlich auch von der spektralen Sättigung der Farben abhängig.*

Siebenundzwanzigstes Kapitel.

Abhängigkeit der Farben von der Zusammensetzung des Lichtes.

Wie schon oben bemerkt, können die Farben des Farbenkreises durch monochromatisches Licht verschiedener Wellenlänge hervorgerufen werden. Es sind jedoch nicht sämtliche Farbentöne, die auf diese Weise zustande kommen können; die Purpurfarben, die Zwischenstufen zwischen Rot und Violett, fehlen im Spektrum und entstehen nur durch eine Mischung der genannten Farben in verschiedenen Verhältnissen. Die Spektralfarben, mit den erwähnten Mischungen von Rot und Violett ergänzt, geben uns sämtliche Farben des Farbenkreises, und durch Veränderung der Reizstärke dieser Farben können alle Farben auf dem Mantel des Doppelkegels hervorgebracht werden. Die ungesättigten Farben, die im Innern des Doppel-

kegels ihren Platz haben, entstehen durch Mischung der gesättigten Farben mit weißem Licht in verschiedenen Verhältnissen.

Auf die angegebene Weise können die verschiedenen Farben des normalen Farbensystems zustande kommen. Es zeigt sich indes, daß auch die Spektralfarben mit wenigen Ausnahmen sich durch Mischungen hervorbringen lassen, und daß es keineswegs notwendig ist, um eine ungesättigte Farbe hervorzubringen, einer Spektralfarbe weißes Licht hinzuzufügen; auch durch Mischung mit anderen Spektralfarben und Farbenmischungen läßt sich dasselbe Resultat erreichen. Es gibt hier eine fast unbegrenzte Mannigfaltigkeit von Möglichkeiten, indem der Satz wenigstens annähernde Gültigkeit hat, daß *gleich aussehende Lichter gemischt gleich aussehende Mischungen ergeben* (Graßmann). Aus der Empfindung läßt sich also durchaus nichts in betreff der Zusammensetzung des Reizes folgern. Nur die physikalische Zerlegung des Lichtes mittels eines Prismas kann in jedem gegebenen Falle entscheiden, durch welche Farbenstrahlen die Empfindung erregt worden ist. Kennt man die Zusammensetzung einer Mischung, die dieselbe Empfindung erregt wie ein homogenes Licht oder eine andere bekannte Mischung, kann man diese Tatsache durch eine „Farbengleichung“ ausdrücken, z. B.: $\varrho(\lambda) + r(l) = R(L)$. Diese Gleichung besagt, daß Licht von der Stärke ϱ und der Wellenlänge λ gemischt mit Licht von der Stärke r und der Wellenlänge l dieselbe Empfindung wie Licht von der Stärke R und der Wellenlänge L ergibt. Es wird gewöhnlich angenommen, daß eine solche Farbengleichung ihre Gültigkeit nicht verliert, wenn man sämtliche Intensitäten mit derselben Zahl multipliziert. Annähernd mag dieser Satz richtig sein; bei genauen Untersuchungen findet man, wie wir im folgenden sehen werden, fast immer kleine Abweichungen[1]). Wir betrachten jetzt kürzlich die wichtigsten Resultate von der Mischung monochromatischer Lichter.

Jede Farbe, deren Wellenlänge zwischen 700 $\mu\mu$ und 540 $\mu\mu$ liegt, kann durch Mischung der beiden Grenzfarben in verschiedenen Verhältnissen erzielt werden. Dasselbe gilt von den Farben, deren Wellenlänge zwischen 510 $\mu\mu$ und 430 $\mu\mu$ liegt; die letzteren Mischungen sind jedoch etwas weniger

[1]) Tonn: Über die Gültigkeit von Newtons Farbenmischungsgesetz. Zeitschrift für Psychologie, Bd. 7, S. 296 u. f.

gesättigt als die entsprechenden Spektralfarben. Mischt man Farben von einer Wellenlänge größer als 540 $\mu\mu$ mit denjenigen, deren Wellenlänge kleiner als 510 $\mu\mu$ ist, so entstehen immer ungesättigte, weißliche Mischfarben. Geht man von einer Farbe aus, deren Wellenlänge größer als 560 $\mu\mu$ ist, so kann man immer unter den kurzwelligen eine Farbe finden, die, in einem bestimmten Verhältnis mit der ersteren gemischt, Weiß ergibt. Solche Farben nennt man *komplementäre.* Nur die grünen Farben zwischen 560 $\mu\mu$ und 510 $\mu\mu$ können durch Mischung mit einem monochromatischen Licht nicht Weiß geben; ihre Komplementären sind Purpurfarben, Mischungen aus Rot und Violett. Sämtliche gesättigte Farben können also durch Mischung von drei Farben, Rot, Grün und Violett, hergestellt werden. Da ferner, wie wir gesehen haben, die Komplementärfarbe irgendeiner von diesen drei Farben zwischen den beiden übrigen liegt und also durch Mischung derselben entstehen kann, so lassen sich mithin Weiß und alle weißlichen Mischfarben aus den drei Farben herstellen. Wir kommen somit zu dem Ergebnis: *Sämtliche, sowohl ungesättigte als gesättigte Farben können durch Mischung von drei Farben, Rot, Grün und Violett, hergestellt werden.* Diese Farben werden daher die physiologischen *Grundfarben* und das Farbensystem *trichromatisch* genannt.

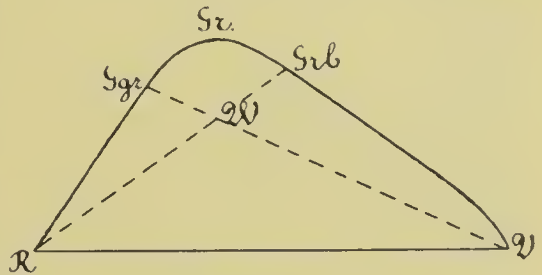


Fig. 37.

Die Tatsachen der Farbenmischung kann man graphisch darstellen, indem man sich die drei Grundfarben in den Spitzen eines Dreiecks angebracht denkt und jede Gerade die Farben repräsentieren läßt, die durch Mischung der in ihren Endpunkten gelegenen Farben entstehen. Man kann sich die Konstruktion ferner so durchgeführt denken, daß jede Farbe in einer Entfernung vom Weiß liegt (Fig. 37), die umgekehrt proportional zu der Intensität ist, mit welcher die Farbe in die weiß erscheinende Mischung eingeht (Newtons Schwerpunktskonstruktion). Das Dreieck wird dann an dem Scheitel, wo Grün liegt, abgerundet, weil Grün relativ ungesättigt ist. Jede durch Weiß (*W*) gehende Gerade verbindet ein Paar Komplementärfarben und enthält alle durch deren Mischung entstehenden ungesättigten Farben.

Es sind die Ergebnisse der Farbenmischung, die zur theoretischen Annahme der drei den Grundfarben entsprechenden Sehstoffe geführt haben. Wird ein einzelner Sehstoff zersetzt, so entsteht die betreffende Grundfarbe, während die gleichzeitige Dekomposition von zwei Sehstoffen Farbenempfindungen erregen, die zwischen den Grundfarben liegen, und eine gleichzeitige Zersetzung aller drei Sehstoffe in bestimmten Verhältnissen Weiß ergibt. Stellt man sich ferner vor, wie die Theorie es erfordert, daß die Sehstoffe für die betreffenden Farbenstrahlen sensibilisiert sind, so daß nicht jeder Sehstoff von beliebigen Farbenstrahlen zersetzt werden kann, so ist dadurch die Möglichkeit zahlreicher individueller Unterschiede gegeben. Wenn die Zapfen zweier Augen so verschieden sensibilisiert sind, wie es aus der Fig. 35 hervorgeht, so folgt daraus einfach, daß ihre Farbengleichungen zumeist nicht übereinstimmen können.

Die Untersuchung der Farbenmischungen haben nun tatsächlich selbst bei völlig normalen Augen individuelle Abweichungen ergeben. Verschiedene Augen erfordern z. B. verschiedene Mischungen von Rot und Grün, um ein bestimmtes Gelb herzustellen [1]); die Unterschiede sind aber meistens unwesentlich (s. S. 257). Größer sind die Differenzen, die bei der Bestimmung der Komplementärfarben gefunden werden; die als komplementär bezeichneten Wellenlängen weisen nicht unerhebliche individuelle Abweichungen auf [2]). Dies rührt nun ohne Zweifel zum Teil davon her, daß die Bestimmungen bei verschiedener Intensität ausgeführt sind; wie wir sofort sehen werden, spielt die Lichtstärke hier eine besonders große Rolle. Es kommen aber auch Unterschiede zwischen den Resultaten vor, die zwei Beobachter unter denselben Umständen erhalten haben [3]); es kann also von einem gemeingültigen System der Komplementärfarben keine Rede sein.

Daß die Komplementärfarben von der Intensität abhängig sind, ist zuerst von *Tonn* festgestellt worden [4]). Um die Angabe zu prüfen und die bisher nur wenig beachteten quantitativen Verhältnisse zu untersuchen, habe ich eine größere Reihe Komplementärbestimmungen durchgeführt. Die Versuche wurden mit dem schon oben (S. 198, Anmerkung) erwähnten Apparate angestellt, dessen Gesichtsfeld durch eine vor das Objektiv des Fernrohres gesetzte

---

[1]) König: a. a. O. S. 347.

[2]) Helmholtz: Physiologische Optik, 2. Aufl., S. 317 u. f.

[3]) König und Dieterici: Zeitschrift für Psychologie, Bd. 4, S. 287.

[4]) Tonn: a. a. O. S. 299.

Blende auf 6° 15′ eingeengt wurde. Ein kleines Gesichtsfeld ist hier von Bedeutung, weil die zentralen und mehr peripheren Teile der Netzhaut in betreff der Komplementärfarben Unterschiede zeigen, so daß es nicht möglich ist, durch Mischung zweier Farben ein größeres Gesichtsfeld in der ganzen Ausdehnung weiß zu machen. Bei den Hauptversuchen wurde als Vergleichslicht einfach das Auerlicht, das als Lichtquelle diente, angewandt. In einer anderen Versuchsreihe wurde das Vergleichslicht auf die Weise bestimmt, daß zuerst durch Mischung von Rot und Blaugrün ein meinem Ermessen nach völlig reines Weiß hergestellt wurde. Im Vergleich mit diesem Weiß erschien das Licht des Auerbrenners gelblich; wenn das Auerlicht aber durch eine 1 cm dicke Schicht von einer 0,1 % haltigen Auflösung von Kupfersulfat, die mit Ammoniak gesättigt war, hindurchging, wurde es der Rot-Blaugrün-Mischung gleich. Dieses entfärbte Auerlicht ist als Vergleichslicht bei der einen Reihe von Messungen angewandt.

Die qualitativen Resultate meiner Bestimmungen der Komplementärfarben gehen aus den ersten Kolonnen der Tab. 13 hervor. Unter λ sind die Wellenlängen angegeben, deren Komplementäre gesucht wurden. $R_{w\lambda}$ sind die Helligkeiten dieser Farben, d. h. die Intensität des Weiß, das ebenso leuchtend wie die Farben ist. Die Wellenlängen der gefundenen Farben finden sich unter l. Die langwelligen Farben bis 600 $\mu\mu$ haben, wie ersichtlich, Komplementärfarben, deren Wellenlänge mit wachsender Intensität kürzer wird. Von etwa 600 $\mu\mu$ an sind die Komplementärfarben von der Lichtstärke unabhängig. Graphisch sind die Verhältnisse in der Fig. 38 dargestellt. Als Abszisse sind die Werte λ der

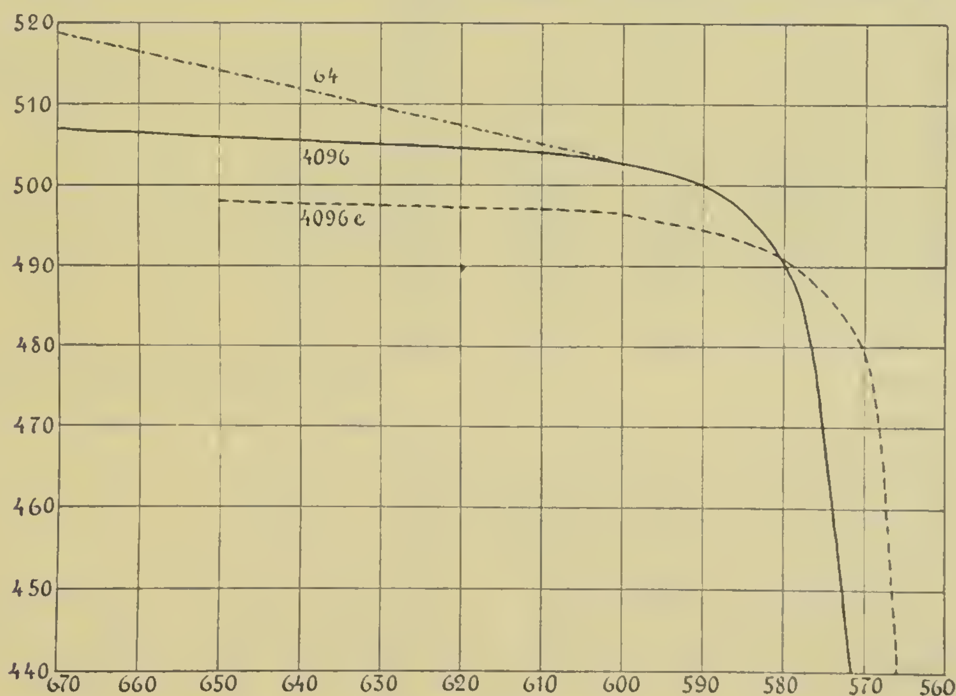


Fig. 38.

Tab. 13 zwischen 670 und 560 $\mu\mu$, als Ordinate die Werte λ zwischen 440 und 520 $\mu\mu$ abgesetzt, und zu jeder dieser Farben ist die gefundene Komplementärfarbe als Ordinate, bzw. Abszisse abgesetzt. Die vollgezeichnete Kurve 4096 gibt die Wellenlängen der Komplementärfarben bei dieser Helligkeit an, während die sich anschließende Gerade 64 die Lage der Komplementärfarben bei dieser Helligkeit angibt. Die punktierte Kurve 4096 e entspricht den Komplementärfarben, die mit entfärbtem Vergleichslicht gefunden wurden.

Die gegenseitige Lage der beiden Kurven 4096 ist leicht verständlich; sie zeigt nämlich einfach, daß die Komplementärfarbe einer beliebigen Farbe sich gegen Rot verschiebt, wenn ein gelblicheres Vergleichslicht angewandt wird. Dasselbe muß selbstverständlich auch dann stattfinden, wenn die Gelbfärbung nicht von äußeren Ursachen, sondern von einer Färbung der Augenmedien herrührt. Da die Färbung des gelben Fleckes individuell recht verschieden sein kann, ist der Unterschied einiger der gefundenen Systeme von Komplementärfarben zweifellos hierdurch bestimmt.

Tabelle 13.

λ	Auerlicht					Entfärbt			
	$R_{w\lambda}$	l	R_{wl}	$R_{w\lambda}+R_{wl}$	W	l	R_{wl}	$R_{wl}+R_{w\lambda}$	W
670	64	520	504	568	567				
	4096	507	12 470	16 566	15 650				
650	64	514	371	435	456				
	4096	506	7 160	11 256	10 200	498	14 460	18 556	18 585
630	64	509	277	341	362				
	4096	505,5	6 670	10 766	10 200				
610	64	504,5	245	309	312				
	4096	504	5 610	9 706	9 350	497	10 790	14 886	19 280
590	64	500	129	193	170				
	4096	500	3 355	7 451	7 100				
585	4096	496	1 628	5 724	5 270				
580	4096					491	4 123	8 219	7 290
575	4096					486	2 000	6 096	7 285
490	4096	579	31 000	35 096	35 000				
480	64	577	208	272	279				
	4096	577	33 200	37 296	46 600	570	10 940	15 036	15 980
460	64	573,5	128	192	170				
	4096	573,5	53 400	57 496	65 800	567	21 100	25 196	23 200
440	4096	572	70 800	74 896	77 100	566	61 370	65 466	69 400

Die Verschiebung der Komplementärfarben mit wachsender Intensität läßt sich nach unserer Theorie dadurch erklären, daß die Sensibilität der Sehstoffe für die verschiedenen Farbenstrahlen mit der Lichtstärke variiert. Wenn das rote Ende des Spektrums mit wachsender Lichtstärke mehr und mehr gelblich wird, kann es der Theorie zufolge nur bedeuten, daß der die Grünempfindung vermittelnde Sehstoff auch anfängt, sich zu zersetzen. Folglich müssen die Komplemente des Rot bei höherer Intensität weniger Grün enthalten, d. h. sie verschieben sich gegen Violett. Die Farben zwischen 600 und 570 $\mu\mu$ zeigen aber keine solche Verschiebung, weil diese Farben sich nur wenig verändern, indem die Zersetzung sowohl der Rotsubstanz als der Grünsubstanz mit wachsender Lichtstärke ungefähr in demselben Verhältnis wächst (vgl. die schematische Darstellung der Fig. 33, *II—IV*). Zwar wächst auch mit der Lichtstärke die Zersetzung der Grünsubstanz durch die komplementären, kurzwelligen Farben; da diese aber, wie aus der Tab. 13 ersichtlich, in der Mischung eine relativ viel geringere Intensität haben als die gelben Farben, so wird die Zunahme der Grünerregung wohl deshalb unmerklich.

Die Helligkeitsverhältnisse der Komplementärfarben gehen aus den ferneren Kolonnen der Tab. 13 hervor. $R_{w\lambda}$ und R_{wl} sind die Intensitäten des weißen Lichtes, das dieselbe Helligkeit hat wie die farbigen Lichter, die gemischt Weiß ergeben. Nehmen wir an, daß bei der Mischung der Komplementärfarben ein Weiß resultiere, dessen Helligkeit gleich der Summe der Helligkeiten der beiden Komponenten sei, so ist die Größe also $R_{w\lambda} + R_{wl}$. In der Tab. 13 sind diese Summen für jedes paar Komplementärfarben angeführt. Die tatsächliche Helligkeit des durch die Mischung entstandenen Weiß läßt sich indes sehr genau messen; sie ist nämlich gleich der Helligkeit des weißen Vergleichslichtes, dem die Mischung identisch gemacht wird. Unter W sind diese Werte angegeben. Die Differenzen zwischen den Summen $R_{w\lambda} + R_{wl}$ und den gemessenen Werten W schwanken, wie man sieht, bald in positiver, bald in negativer Richtung und sind außerdem nicht größer, als es infolge der Unsicherheit der heterochromen Helligkeitsvergleichung zu erwarten stand. Wir können somit den Satz feststellen: *Das aus einer Mischung von Komplementärfarben resultierende Weiß hat eine Helligkeit, die gleich der Summe der Helligkeiten der beiden Komponenten ist.* In theoretischer

Beziehung ist dies Ergebnis von Interesse, weil die Hering'sche Farbentheorie, die bisher zahlreiche Anhänger gefunden hat, zu der Folgerung führt, daß die Helligkeit des gemischten Weiß kleiner sein muß als die Summe der Komponenten.

Achtundzwanzigstes Kapitel.

Abhängigkeit der Farbenempfindungen von der Dauer des Reizes.

Die bisher betrachteten Tatsachen erheben es über jeden Zweifel, daß die die Nervenerregung vermittelnden Vorgänge in der Netzhaut photochemischer Natur sind. Für derartige Prozesse gilt aber das physikalische Gesetz, daß die zersetzte Stoffmenge sowohl der Reizstärke als der Reizdauer proportional wächst. Träten keine Komplikationen hinzu, so würden die Netzhautvorgänge zweifellos diesem Gesetze unterliegen; da die Assimilation aber stets der Dissimilation entgegenwirkt, so kann die zersetzte Stoffmenge der Reizdauer nicht proportional wachsen. Wie es in solchem Falle geht, wurde schon oben (Kap. 14) unter gewissen einfachen Voraussetzungen entwickelt. Die nach der Reizdaner T vorhandene zersetzte Stoffmenge U_T ist durch Gleich. 18 bestimmt, und nur wenn T sehr klein ist, wird U_T der Zeit T proportional (Gleich. 19). Wir werden jetzt sehen, daß diese auf theoretischem Wege entwickelten, allgemeinen Gesetze der Reizwirkung tatsächlich für die Netzhautvorgänge gültig sind.

Um die Gültigkeit der Gesetze durch Messungen prüfen zu können, muß man ein Maß der Reizwirkung haben. Nun hat man schon längst gefunden, daß Gleich. 19 für sehr kurze Zeiten, je nach der Reizstärke bis 20—50$^\sigma$ (mit σ werden Tausendstelsekunden bezeichnet), gültig ist. Wählen wir also T so kurz, z. B. 10$^\sigma$, daß $U_T = q \cdot K \cdot R \cdot T$, so kann man als Einheit der Reizwirkung die Größe U_T nehmen, die vom Reize 1 in der Zeiteinheit 1 hervorgerufen wird. Die Wirkung U des Reizes r in 10$^\sigma$ wird dann einfach: $U = 10 \cdot r$.

Hierdurch sind wir instandgesetzt, die Wirkung eines beliebigen Reizes R in der Zeit T zu messen. Erregt nämlich R in der Zeit T eine bestimmte Empfindung, und wird die Größe r gefunden, die in der Zeit 10$^\sigma$ genau dieselbe Empfindung hervorruft, so müssen auch die Wirkungen der beiden Reize in der Netzhaut gleich groß sein. $U = 10 \cdot r$ ist dann einfach das Maß dieser Wirkung.

Auf die besondere Technik und die Schwierigkeiten solcher Messungen können wir hier nicht näher eingehen[1]). Selbstverständlich ist es durchaus notwendig, daß die Einwirkung der beiden Reize genau in demselben Moment abschließt, weil sonst die Wirkung des einen Reizes ihre volle Größe noch nicht erreicht hat, wenn die des anderen schon aufhört. Man vergleicht in solchem Falle die Wirkungen der beiden Reize gar nicht nach bekannten Zeiten, sondern auf zufälligen Stadien ihrer Entwicklung. Diese Fehlerquelle ist bei einigen Versuchen durchaus übersehen worden. Ferner ist es leicht verständlich, daß die Dauer des Vergleichsreizes so klein genommen werden muß, daß die Wirkung U dem r proportional wächst. Wenn dies nämlich nicht der Fall ist, so wird es gänzlich illusorisch, von einer Messung zu reden, weil die Einheiten des Maßstabes dann nicht gleich groß sind. Dennoch haben die meisten Experimentatoren sich dieses Fehlers schuldig gemacht, so unter anderen Büchner[2]) und Berliner[3]), obwohl ich schon vorher auf die unerläßliche Bedingung einer sehr kurzen Dauer des Vergleichsreizes aufmerksam gemacht hatte. Die von den genannten Forschern gefundenen zahlreichen Maxima und Minima rühren zum Teil davon her, daß ihre Maßeinheit mit der zu messenden Größe unregelmäßig variiert, zum Teil auch davon, daß eine konstante Dunkeladaptation nicht berücksichtigt worden ist. Wiederholte Messungen zeigen nämlich, daß *die Wirkung des schwächeren, aber länger dauernden Reizes mit zunehmender Dunkeladaptation abnimmt*, und die gefundenen Werte schwanken daher von Tag zu Tag, wenn man die Dunkeladaptation nicht sehr sorgfältig durchführt. Nur meine eigenen Messungen sind von diesen verschiedenen Fehlern frei, und ich kann daher nur meinen Resultaten, die jedoch auch nicht einwandfrei sind, einen Wert beilegen. Bei meinen älteren Messungen wurde nämlich aus technischen Gründen für die über 1 Sek. hinausgehenden Reizdauern nicht $U = 10 \cdot r$, sondern $U = 1000 \cdot r$ als Maß eingeführt[4]). In diesem Falle verändert sich, wie schon gesagt, die Maßeinheit mit der Größe des r, so daß die Kurven der Fig. 39 für größere Abszissen als 1000 nur ein ungefähres Bild des Verlaufes geben können.

Als Beispiel solcher Messungen sind in Tab. 14 die für $R = 256$ und $R = 65\,536$ gefundenen Werte wiedergegeben. Unter T ist die untersuchte Dauer der Reize R, unter $\frac{U}{R}$ das Verhältnis zwischen der gefundenen Wirkung $U = 10 \cdot r$ und dem betreffenden R und unter $log\,U$ der Logarithmus

---

[1]) Lehmann: Elemente der Psychodynamik, S. 171 u. f., wo die älteren Untersuchungen dieser Art kritisch beleuchtet sind.

[2]) Über das Ansteigen der Helligkeitserregung. Wundts Psych. Studien, Bd. 2, S. 10.

[3]) Der Anstieg der reinen Farbenerregung. Wundts Psych. Studien, Bd. 3, S. 100.

[4]) Lehmann, a. a. O. S. 178.

der gemessenen Wirkung angeführt. Meine sämtlichen Messungen sind in der Fig. 39 graphisch dargestellt, indem *log T* als Abszisse, und *log U* als Ordinate abgesetzt sind.

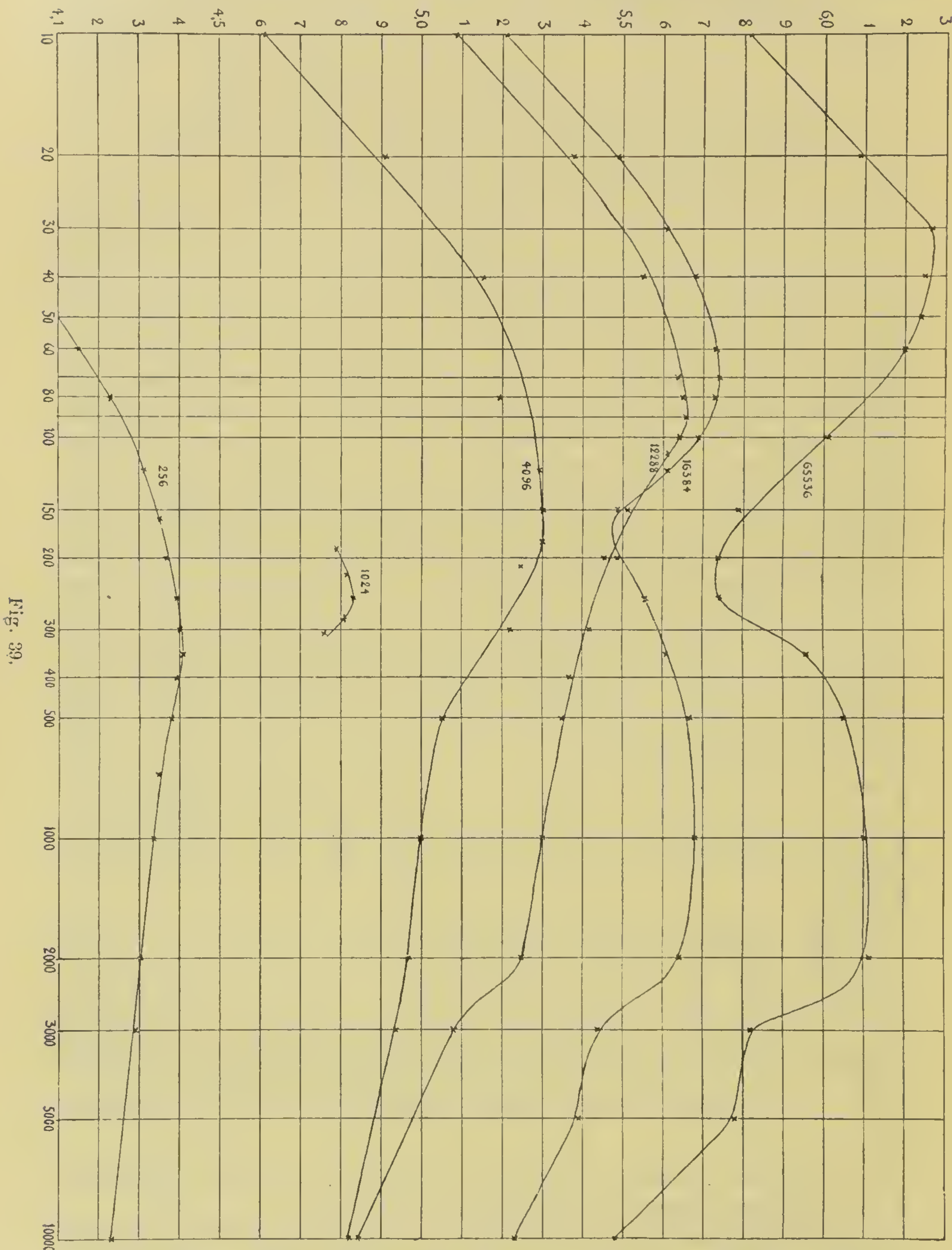


Fig. 39.

Diese Messungen bestätigen nun völlig die auf theoretischem Wege abgeleiteten Sätze. Wir fanden (S. 87): Bei kurzdauernden Reizungen wächst die Wirkung sowohl der Reizstärke als der

Reizdauer proportional, jedoch nur bis zu einer gewissen Reizdauer, die um so kleiner ist, je größer die Reizstärke. Dieser Satz geht aus der Tab. 14 hervor, indem die Werte zeigen, daß $U = R \cdot T$ oder $T = \frac{U}{R}$ bis etwa 50^{σ} für $R = 256$, aber nur bis etwa 30^{σ} für $R = 65\,536$. Ferner fanden wir: Mit wachsender Reizdauer wird die Wirkung des Reizes verhältnismäßig weniger zunehmen und mithin um so schneller eine konstante Größe erreichen, je größer die Reizstärke ist. Diese Tatsache ist aus der Fig. 39 (Kurve 256 u. 4096) ersichtlich. Bei den größeren Reizstärken treten die ebenfalls früher erwähnten Komplikationen hinzu, wodurch, nachdem das Maximum erreicht ist, die Wirkung wieder abnimmt, um dann etwa 1 Sek. nach dem Anfang der Reizung ein sekundäres Maximum zu erhalten. Erst 5 Sek. nach dem Anfang der Reizung wird die Wirkung fast konstant, sinkt später jedenfalls nur wenig. *Die ausgeruhte (dunkeladaptierte) Netzhaut adaptiert sich also in einer Zeit von 5 Sek. an einen gegebenen Reiz; völlig konstant wird die Wirkung des Reizes aber erst in etwa 30 Sek.* [1]).

Tabelle 14.

$R = 256$			$R = 65\,536$		
T	$\frac{U}{R}$	$log\,U$	T	$\frac{U}{R}$	$log\,U$
10	10,00	3,41	10	10,00	5,82
20	19,53	3,70	20	18,19	6,08
40	44,00	4,05	30	28,41	6,27
60	55,01	4,15	40	26,90	6,25
80	66,01	4,23	50	26,14	6,24
120	79,48	4,31	60	24,24	6,20
160	87,56	4,35	100	15,64	6,01
200	91,60	4,37	150	9,26	5,79
250	95,42	4,39	200	8,42	5,74
300	97,93	4,40	250	8,42	5,74

Die in Fig. 39 dargestellten Kurven zeigen die Wirkung eines gegebenen Reizes bei verschiedenen Reizdauern. Aus einem solchen System von Messungen läßt sich aber auch die Wirkung verschiedener Reize von konstanter Dauer ableiten, was von besonderem Interesse ist. Die Zeit, die eine physiologisch-optische Beobachtung gewöhnlich beansprucht, ist nämlich so lang, daß Gleich. 19 nicht gültig sein kann, und

[1]) Aubert: Physiologische Optik. Leipzig 1876. S. 507.

folglich wächst bei konstanter Reizdauer die Wirkung U zumeist nicht der Reizstärke proportional. Bei genauen Untersuchungen muß hierauf Rücksicht genommen werden; wir wissen aber bis jetzt noch gar nicht, wie denn eigentlich U bei längerer, konstanter Reizdauer mit R variiert. Besonderes Interesse hat es, diese Beziehung für die Reizdauer zu kennen, wo die Netzhaut eben an den Reiz adaptiert wird, also nach etwa 5 Sek. Reizdauer. Da meine oben angeführten Messungen hier unbefriedigend sind, habe ich eine neue Reihe Messungen nach einer verbesserten Methode ausgeführt. In der Tab. 15 sind die Ergebnisse derselben zusammengestellt, indem $\frac{U}{R}$ bei verschiedenen Reizstärken sowohl für $T = 1$ Sek. als für $T = 5$ Sek. angeführt ist. Die Zahlen zeigen, daß die Erregung

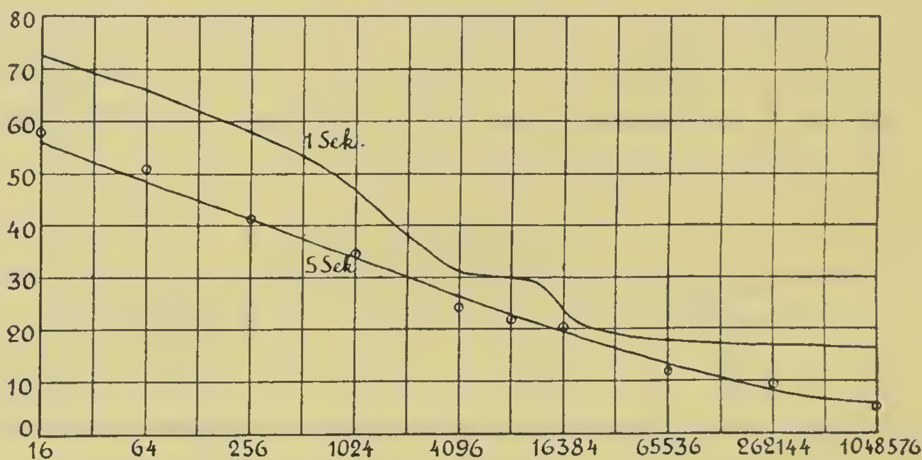


Fig. 40.

nach 5 Sek. Reizdauer ohne Ausnahme schwächer als nach 1 Sek. Dauer ist, und daß sie durchweg um so mehr abnimmt, je größer die Reizstärke wird. Von größerer Bedeutung ist indes die relative Veränderung der Wirkung, wenn die Reizstärke bei konstanter Dauer variiert. Diese Veränderungen treten am besten in der graphischen Darstellung Fig. 40 hervor, wo R logarithmisch als Abszisse, $\frac{U}{R}$ als Ordinate abgesetzt sind. Es sind die beiden Kurven, für $T = 1$ und $T = 5$ Sek., eingezeichnet; die gefundenen Werte der letzteren Zeit sind durch kleine Zirkel bezeichnet, während die Kurve durch die berechneten Werte, „$\frac{U}{R}$ *ber.*“ der Tab. 15, gelegt ist. Die Kurve für $T = 5$ Sek. zeigt einen regelmäßigen Verlauf, indem $\frac{U}{R}$ den wachsenden Werten des $\log R$ fast proportional sinkt.

Dies bedeutet also einfach: *Die von einem Reize in 5 Sek. in der Netzhaut hervorgerufene Wirkung wächst keineswegs der Reizstärke proportional, sondern in weit geringerem Verhältnis.* Die Werte der Tab. 15 haben selbstverständlich nur individuelle Gültigkeit; der Unterschied zwischen verschiedenen normalen Augen wird jedoch nicht sehr groß sein.

Tabelle 15.

$R =$	16	64	256	1024	4096	8192	16384	65536	262144	1048576
1 Sek.	72,6	65,4	57,5	47,2	30,9	29,8	23,7	17,7	17,0	16,2
5 Sek.	58,1	51,2	41,3	34,5	24,1	22,0	20,2	11,9	9,5	5,2
$\frac{U}{R}$ *ber.*	55,2	48,2	41,3	34,1	27,1	23,6	20,1	13,9	8,7	5.8

Die Werte der Tab. 15 können als einigermaßen zuverlässig angesehen werden, weil der Vergleichsreiz bei diesen Messungen konstant eine Dauer von 10^{σ} hatte. Außerdem war die Versuchsmethode in vielen Punkten verbessert worden. Das Gesichtsfeld war mittels einer vor das Objektiv des Beobachtungsfernrohres gesetzten Blende auf $8^0\ 19'$ eingeengt, während es früher $12^0\ 30'$ war. Diese Veränderung wurde deshalb unternommen, weil die zentralen und die mehr peripheren Teile der Netzhaut nicht dieselbe Empfindlichkeit besitzen, so daß die beiden zu vergleichenden Hälften eines größeren Gesichtsfeldes selten in ihrer ganzen Ausdehnung gleich hell erscheinen, wodurch die Beobachtung sehr erschwert wird. Da die zentralen Teile weniger empfindlich sind als die mehr peripheren, so kann die Verminderung des Gesichtsfeldes zum Teil daran schuld sein, daß die neuen Messungen keine so großen Schwankungen wie die älteren aufweisen. Ferner wurde die Blende auf der dem Auge zugekehrten Seite mit Balmainfarbe gestrichen, die dann und wann 10 Sek. lang dem Lichte eines Auerbrenners ausgesetzt wurde. Hierdurch entstand im Gesichtsfelde ein schmaler, schwach leuchtender Ring, während das ganze übrige Feld völlig dunkel war. Das Fixieren des Zentrums dieses Ringes war viel leichter und sicherer als bei der früher angewandten Methode, und die Resultate sind deshalb genauer. Die Intensität des leuchtenden Ringes hielt sich, nachdem das erste starke Leuchten vorüber war, merkwürdig konstant bis 5 Min. und schwankte bei allen Messungen nur wenig um $R = 12$.

Die Nachbilder. Wenn die Reizung unterbrochen wird, hört die Empfindung nicht sofort auf. Gehen wir, der Einfachheit wegen, davon aus, daß die Netzhaut vor der Reizung völlig ausgeruht (dunkeladaptiert) war, und daß der sehr kurzdauernde Reiz in einem Dunkelzimmer so dargeboten wird, daß das Auge nach dem Aufhören des Reizes gegen jede Lichteinwirkung geschützt ist, ohne daß die Lider geschlossen zu

werden brauchen. Unter diesen Umständen setzt sich die Empfindung beim Aufhören des Reizes unmittelbar fort, anfangs ohne jegliche qualitative Veränderung; nur die Stärke nimmt verhältnismäßig schnell ab. Das farbige Bild wird bald farblos, und schließlich hört die Empfindung auf. Diese ohne Reizung stattfindende Fortsetzung der Empfindung wird das *Nachbild* genannt; es ist *positiv*, weil es unter den erwähnten Umständen hell auf dem dunklen Hintergrund des Auges hervortritt. Von den *negativen* Nachbildern, die dunkel auf hellem Hintergrunde hervortreten, wird weiter unten die Rede sein. Falls während der Betrachtung des positiven Nachbildes Augenbewegungen völlig vermieden werden, klingen die Nachbilder stetig, ohne Schwankungen ab, und wenn sie verschwunden sind, lodern sie nicht wieder auf. Ein momentanes Verschwinden und Wiederauflodern des Nachbildes kann dagegen durch Augenbewegungen leicht hervorgerufen werden; diese Schwankungen treten jedoch keineswegs beim positiven Nachbild des dunkeladaptierten Auges so leicht ein, wie sie *Ferree* am negativen Nachbild[1]) beobachtet hat. Es ist daher relativ leicht, die Dauer der positiven Nachbilder zu messen, wenn die erwähnten Vorsichtsmaßregeln getroffen sind. Da die Dauer des Nachbildes von großem theoretischen Interesse ist, indem sie uns über die Assimilationsvorgänge Aufschluß gibt, sind in der Tab. 16 die Resultate einiger derartigen Messungen wiedergegeben.

Die Reizlichter waren weiß, rot (630 $\mu\mu$) und grün (530 $\mu\mu$); die Intensitäten der Farben waren so gewählt, daß sie dieselben Helligkeiten wie das weiße Licht hatten. Die Dauer der Reizung war konstant 30^{σ}. Die Dauer der Nachbilder wurde, um jede Bewegung zu vermeiden, einfach nach dem Ticktack eines Sekundenpendels abgezählt; auf diese Weise läßt sich die Zeit mit der Genauigkeit einer Viertelsekunde sehr wohl bestimmen. Die gefundenen Zeiten, Mittelwerte aus je vier Bestimmungen, sind in Sekunden angegeben. Das Aufhören des Nachbildes war leicht festzustellen, indem das Gesichtsfeld von dem oben erwähnten schwach leuchtenden Ring begrenzt war; sobald das Nachbild dunkler als dieser Ring wurde, was sich mit größter Genauigkeit beurteilen ließ, wurde es als beendet angesehen. Die Werte t der Tab. 16

[1]) Intermittence of minimal visual sensations. Amer. Journal of Psych. 1908, S. 58.

sind die Mittel der für die drei gleich hellen Reizlichter gefundenen Werte.

Aus der Tab. 16 ist unmittelbar ersichtlich, daß *nach kurzdauernder Reizung die Nachbilder gleich heller Farben dieselbe Dauer haben.* Bei den folgenden theoretischen Betrachtungen brauchen wir daher nicht die Qualität des farbigen Lichtes zu berücksichtigen. Die Beziehung, die sich zwischen der Dauer des Nachbildes und der Intensität R_w des weißen Lichtes nachweisen läßt, ist auch für die Intensität R_λ eines beliebigen monochromatischen Lichtes gültig, wenn man statt R_w die Größe R_λ^A einsetzt, indem Gleich. 30 zufolge $R_w = R_\lambda^A$, wenn R_w und R_λ gleich hell erscheinen.

Tabelle 16.

R_w	Dauer des Nachbildes				
	weiß	630 $\mu\mu$	530 $\mu\mu$	t	ber. t
64	1,2	1,2	1,0	1,13	0,96
1 024	2,8	2,9	2,5	2,73	2,88
16 384	4,5	4,9	4,7	4,70	4,79
65 536	5,6	5,8	5,7	5,70	5,75
262 144	6,6	6,6	6,7	6,63	6,70
1 048 576	7,8			7,80	7,66

Zu einer Beziehung zwischen der Dauer des Nachbildes und der Intensität des Reizes führt uns die folgende Betrachtung. Unserer Theorie der Nervenerregung zufolge müssen die Nachbilder dadurch zustande kommen, daß die Netzhaut allmählich in den chemischen Gleichgewichtszustand, der durch den Reiz gestört wurde, zurückkehrt. Solange nämlich die zersetzten Biogene noch nicht regeneriert sind, befindet sich der Nerv im Erregungszustande; bei der Unterbrechung der Reizung hört zwar die Dissimilation auf, die Assimilation kann aber nicht sofort das Organ in den Ruhezustand zurückführen. Die Assimilation erfordert immer eine gewisse Zeit; daß die Nachbilder farbiger Reize noch lange dauern, nachdem sie farblos geworden sind, deutet darauf hin, daß die Vorgänge im Zapfenapparat schneller verlaufen als die des Stäbchenapparates. Die Geschwindigkeit dieser Vorgänge, die die Dauer des Nachbildes bestimmt, ist teils von der Art der stattfindenden chemischen Reaktion, teils von der Konzentration der Stoffe beim Aufhören der Reizung abhängig. Gehen wir davon aus, daß die zum Aufbau der Moleküle nötigen Stoffe in so großer Menge mit dem Blute zugeführt werden,

daß ihre Konzentration sich während der Reaktion nicht merklich verändert, so steht zu erwarten, daß die Dauer des Nachbildes durch die Gleichung:

$$t = \frac{1}{K} \cdot ln \frac{a_0}{a_t} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (\text{Gl. } 5)$$

bestimmt sein wird (vgl. S. 43). Bei den hier betrachteten, sehr kurzen Reizdauern kann die Konzentration a_0 der vorhandenen zersetzten Stoffmenge U proportional angesehen werden: $a_0 = n \cdot U$. Ferner ist unter derselben Voraussetzung: $U = R \cdot T$, also: $a_0 = n \cdot R \cdot T$. Wird diese Größe in die Gleich. 5 eingesetzt, erhalten wir:

$$t = \frac{1}{K} \cdot ln \frac{n \cdot R \cdot T}{a_t} = \frac{1}{K} \cdot ln \frac{R}{Q} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; (\text{Gl. } 35),$$

indem $\frac{a_t}{nT} = Q$ gesetzt wird. Die Gültigkeit dieser Gleichung für die Messungen der Tab. 16 läßt sich prüfen, wenn man die Konstanten K und Q bestimmt. Man findet $\frac{1}{K} = 3{,}665$ und $Q = 15{,}89$, also hat man:

$$t = 3{,}665 \cdot ln \frac{R}{15{,}89} = 1{,}587 \; log \frac{R}{15{,}89}.$$

Aus dieser Gleichung sind die Werte „*ber. t*" der Tab. 16 berechnet; sie stimmen mit den gemessenen so gut überein, wie es überhaupt zu erwarten war. Durch diese Übereinstimmung werden die beiden theoretischen Voraussetzungen, von welchen wir ausgegangen sind, jedenfalls recht wahrscheinlich: 1. Die Nachbilder rühren von den bei der Unterbrechung der Reizung vorhandenen, zersetzten Sehstoffen her und dauern daher so lange, bis diese Stoffmenge durch die Assimilation ersetzt worden ist. 2. Der Assimilationsvorgang, der das Aufhören der positiven Nachbilder herbeiführt, ist eine chemische Reaktion, bei welcher der eine der reagierenden Stoffe seine Konzentration nicht merklich verändert.

Nach länger, über 1 Sek. hinaus, dauernder Reizung wird die Sache entschieden komplizierter, indem die Nachbilder ihren Charakter um so mehr verändern, je größer die Dauer und die Stärke des Reizes. Wenige Sekunden nach der Unterbrechung der Reizung bildet sich dann um das Nachbild herum ein heller Ring, der *Lichthof* (Hering), von der Farbe des Nachbildes, aber viel blasser, ungesättigter. Das Nachbild verschwindet gleichzeitig momentan, wird darauf selbst komplementär gefärbt und negativ, dunkler als der Lichthof.

Etwas später verschwindet der Lichthof, und das Nachbild steht dann wieder als positives, aber komplementär gefärbtes Bild im Gesichtsfeld, bis es schließlich, ohne weißlich zu werden, verschwindet. Alle diese Phasen sind gewöhnlich erst nach 5 Sek. Reizdauer zu beobachten; liegt die Reizdauer zwischen 1 und 5 Sek., entsteht kein Lichthof, und das Nachbild ist konstant positiv, nimmt aber bald eine komplementäre Färbung an. Es ist also hier statt des gleichmäßig abklingenden Nachbildes, wie es sich nach kurzdauernder Reizung zeigt, ein recht kompliziertes Phänomen getreten, dessen Erklärung sich erst später geben läßt (Kap. 54).

Ferner verändert sich mit der Reizdauer auch die Dauer des Nachbildes. Ohne Rücksicht auf die erwähnten verschiedenen Phasen, die mehr oder weniger schnell wechseln, können wir die gesamte Dauer des positiven Nachbildes bestimmen. Die Tab. 17 gibt die Resultate einer Reihe solcher Messungen wieder. Wie früher wurden Weiß, Rotorange (630 $\mu\mu$) und Grün (530 $\mu\mu$) untersucht; die drei Farben hatten dieselbe Helligkeit gleich $R_w = 65\,536$. In der oberen Reihe der Tab. 17 ist die Reizdauer T und darunter die Dauer des Nachbildes in Sekunden angegeben; die Zahlen sind die Mittel der für alle drei Farben gefundenen Werte, die sehr wenig voneinander abweichen. Also *auch nach längerer Reizdauer haben die Nachbilder gleich heller Farben dieselbe Dauer*. Ferner geht aus den Messungen hervor, daß die Dauer des Nachbildes mit der Reizdauer, anfangs bis etwa 0,5 Sek. Reizdauer, in einem fast logarithmischen Verhältnis, später aber etwas stärker wächst. Wenn die Reizdauer aber größer als 5 Sek. wird, so wächst die Dauer des positiven Nachbildes sehr wenig. Dagegen bemerkt man, wenn nach dem Verschwinden des Nachbildes der Blick gegen einen sehr schwach leuchtenden Hintergrund gerichtet wird, daß die Netzhaut an der Stelle, wo das Nachbild sich befand, noch keineswegs ihre Empfindlichkeit wieder erhalten hat; diese Stelle tritt dunkel, also als *negatives Nachbild*, auf dem schwach leuchtenden Hintergrund hervor. Bestimmt man die Zeit, die von der Unterbrechung der Reizung bis zur völligen Wiederherstellung der Empfindlichkeit verstreicht, so findet man, daß sie mit der Reizdauer sehr stark wächst. Die Zahlen der unteren Reihe der Tab. 17 (Adapt.) geben die Resultate dieser Bestimmung in Sekunden wieder. Von diesen letzteren Werten wird in Kap. 29 die Rede sein; hier betrachten wir nur die positiven Nachbilder.

Tabelle 17.

$T =$	0,03	0,06	0,12	0,24	0,48	1	2	5	10	20
Pos. Nachb.	5,7	6,5	7,25	7,5	9,0	12	15	18	19	20
Adapt. . . .								25	38	65

Es sei nur noch bemerkt, daß die erwähnten Tatsachen nur nach halbstündiger Dunkeladaptation zu beobachten sind; unter anderen Umständen haben die Nachbilder einen anderen Verlauf (Kap. 29). Ferner sind die Stärke und die Dauer der Nachbilder individuell sehr verschieden; viele Menschen können fast gar keine positiven Nachbilder sehen.

Dem oben (S. 230) Festgestellten zufolge dürfen wir zweifellos annehmen, daß die längere Dauer des Nachbildes von der Gegenwart einer größeren zersetzten Stoffmenge bei der Unterbrechung der Reizung herrührt; das Nachbild dauert eben so lange, bis diese Stoffmenge regeneriert worden ist. Hiermit stimmt es sehr gut überein, daß das positive Nachbild nur unwesentlich an Dauer zunimmt, wenn die Netzhaut nach 5 Sek. Reizdauer an den Reiz adaptiert worden ist. Die Dauer wächst aber, besonders zwischen 0,5 und 5 Sek. Reizdauer, fortwährend; die zersetzte Stoffmenge muß also in dieser Zeit stark zunehmen. Wir sahen aber früher, daß die Lichtempfindung, die von einem gegebenen Reize erregt wird, nach 5 Sek. Reizdauer entschieden schwächer ist als nach 1 Sek. Reizdauer (vgl. Fig. 40). Der schwächeren Empfindung entspricht eine weniger starke Erregung; die Erregung ist aber von der Konzentrationsverminderung der Sehstoffe abhängig (S. 108). Die Tatsachen führen also zu der Konsequenz, daß die vorhandene zersetzte Stoffmenge zwar mit der Reizdauer bis zu einer gewissen Grenze wächst, daß die Konzentration der Sehstoffe aber keineswegs in demselben Verhältnis abnimmt. Hierin ist gar kein Widerspruch; nur muß sich dann die ganze vorhandene Stoffmenge in einen kleineren Raum zusammenziehen. Dies findet aber tatsächlich auch statt, indem die Zapfen sich während der Belichtung in etwa 2 Min. stark kontrahieren. Die Abnahme der Empfindungsstärke trotz wachsender Menge der Zersetzungsprodukte in der ersten Zeit, nachdem die Netzhaut an den Reiz adaptiert worden ist, kann also einfach hiervon herrühren.

Bei *kurzdauernder periodischer Reizung* der Netzhaut treten Erscheinungen auf, die einfache Konsequenzen der eben dargestellten Tatsachen in betreff der Nachbilder sind. Eine periodische Reizung läßt sich z. B. auf die Weise zustande bringen, daß eine Scheibe mit abwechselnd weißen und schwarzen Sektoren in schnelle Rotation um eine Achse durch das Zentrum gesetzt wird. Zu genauen Untersuchungen eignet sich ein solcher Apparat jedoch nicht, erstens, weil ein schwarzes Pigment immer etwas Licht reflektiert, und zweitens,

weil die Dauer der einzelnen Reizungen von den Augenbewegungen abhängig wird. Es ist daher besser, die weißen Sektoren auszuschneiden und die schwarzen, undurchsichtigen Sektoren vor einer Spalte rotieren zu lassen, durch welche das Licht in einen Photometer fällt. Auf diese Weise kann das Gesichtsfeld plötzlich beleuchtet, und die Belichtung ebenso plötzlich unterbrochen werden, während das Gesichtsfeld zwischen den sukzessiven Belichtungen völlig lichtlos ist. Wie man nun auch verfährt, so sieht man bei geringer Rotationsgeschwindigkeit die einzelnen Reize; je größer aber die Rotationsgeschwindigkeit wird, um so mehr verschmelzen sie. *Bei genügend schneller Aufeinanderfolge der periodischen Reize können die von den einzelnen Reizungen erregten Empfindungen nicht unterschieden werden, und es entsteht eine gleichmäßige Empfindung.*

Diese Tatsache ist leicht verständlich, wenn man erinnert, daß ein positives Nachbild auf jede kurzdauernde Reizung folgt, und daß die Dauer des Nachbildes im Verhältnis zur Reizdauer sehr beträchtlich ist. Es kann daher, bei genügend schneller Rotation, vorkommen, daß das Nachbild in dem Intervalle zwischen zwei Reizungen nur so wenig an Stärke abnimmt, daß der Unterschied zwischen dem Nachbild und der vom folgenden Reize ausgelösten Empfindung unmerklich wird. Dann ist also die Wirkung der periodischen Reizung eine kontinuierliche Empfindung.

Um die Stärke der bei der periodischen Reizung erregten Empfindung zu bestimmen, können wir den folgenden Versuch anstellen. An einer Achse befestigen wir einen weißen Sektor und eine graue Scheibe, deren Radius kleiner als der des Sektors ist; diese Kombination rotiert vor einem lichtlosen Raum, einem tiefen, innen schwarz angestrichenen Kasten. Durch Variation der Größe des weißen Sektors läßt sich erreichen, daß letzterer während seiner Rotation dieselbe Helligkeit erhält wie die graue Scheibe; die durch die periodische Reizung erregte Empfindung ist also gleich derjenigen der kontinuierlichen Reizung. Es sei nun $\frac{R}{r}$ das photometrisch bestimmte Verhältnis zwischen dem von dem weißen Sektor und von der grauen Mittelscheibe reflektierten Licht. Der Versuch zeigt dann, daß die Gradzahl g des weißen Sektors durch die Gleichung: $\frac{g}{360} = \frac{r}{R}$ bestimmt ist. Wenn die graue

Scheibe eine Umdrehung in t Tausendstelsekunden ausführt, wird also die Reizdauer T des weißen Sektors $T = g \cdot \frac{t}{360}$ oder $\frac{g}{360} = \frac{T}{t}$. Man hat folglich:

$$\frac{g}{360} = \frac{T}{t} = \frac{r}{R} \text{ oder } R \cdot T = r \cdot t \ldots\ldots \text{(Gl. 36).}$$

Entsteht bei genügend schneller Aufeinanderfolge periodischer Reize von der Stärke R und der Dauer T eine gleichmäßige Empfindung, so ist diese Empfindung gleich derjenigen, die durch eine kontinuierliche Reizung von der Dauer t und der Stärke r erregt wird, wenn $R \cdot T = r \cdot t$ (Talbot'scher Satz).

Eine Erklärung dieses Ergebnisses ist insofern nicht notwendig, als es eine einfache Konsequenz der Gleich. 19 ist. Der Talbot'sche Satz besagt nur, daß die erwähnte Gleichung

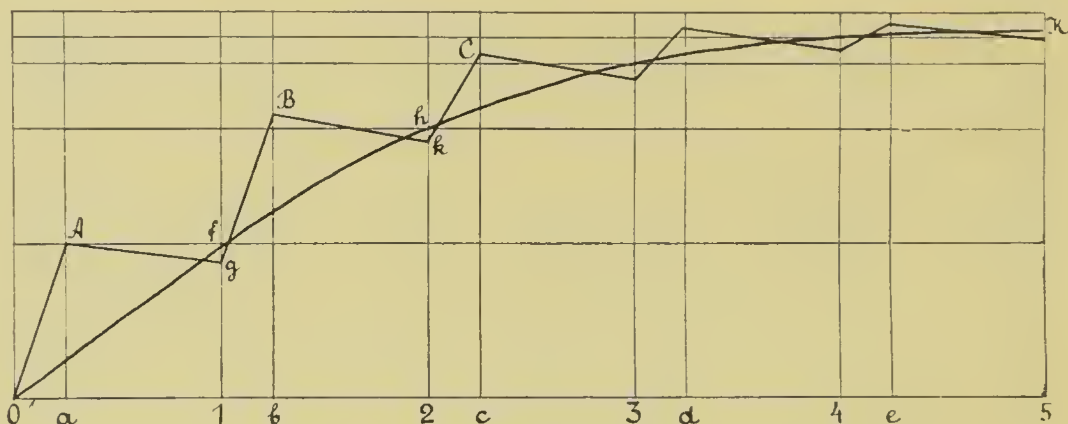


Fig. 41.

für die äußerst kurzen Reizdauern, die bei der Verschmelzung periodischer Reize in Betracht kommen, völlige Gültigkeit besitzt. Da die Größen R und T bei rotierenden Scheiben sich mit großer Genauigkeit messen lassen, wird dadurch die Gültigkeit der Gleich. 36 für solche kurzdauernden Reize über jeden Zweifel erhoben. Vom Talbot'schen Satz ausgehend können wir nun leicht veranschaulichen, wie die periodische Reizung dieselbe Empfindung wie die kontinuierliche zustande bringen wird.

In Fig. 41 ist die Zeit als Abszisse abgesetzt. Die gleichgroßen Strecken *0—1*, *1—2*, *2—3* usw. stellen die Zeiten dar, die eine einzelne Rotation der Scheibe erfordert; sie entsprechen also der Reizdauer t der grauen Scheibe. Wir denken uns die Rotation so schnell, t mithin so kurz, daß die Erregung während der ersten Rotation, in der Zeit *0—1*, der Zeit proportional ansteigt. Setzen wir die Erregung nach dieser Zeit,

$1f$, als Ordinate ab, so ist also die Linie $0f$ eine Gerade. Bei den folgenden Rotationen wird der Erregungszuwachs aber immer kleiner, so daß der Anstieg der Erregung sich durch die Kurve $0fh \ldots K$ darstellen läßt. Die periodische Reizung findet in den Zeiten $0—a$, $1—b$, $2—c$ usw. statt, und wir nehmen an, daß die Intensität der beiden Reize, dem Talbotschen Satz zufolge, den Reizdauern umgekehrt proportional ist. Bei der ersten Rotation erreicht also die vom periodischen Reize hervorgerufene Erregung dieselbe Höhe wie die kontinuierlichen, mithin den Punkt A, indem $aA = 1f$. Im reizlosen Intervall $a—1$ nimmt die Erregung wieder ab, das Nachbild verliert an Stärke, so daß die Erregung im Momente 1 etwas kleiner als $1f$ ist. Durch die zweite periodische Reizung steigt die Erregung daher etwas höher als h, $bB > 2h$, weil der Zuwachs immer um so größer ist, je kleiner die schon bestehende Erregung. Im nächsten Intervall, $b—2$, sinkt das Nachbild wieder unter h herab bis zu k. Dies wiederholt sich bei jeder neuen Reizung; der Zuwachs wird aber immer kleiner, weil die schon bestehende Erregung immer größer wird, so daß die zackige Linie $0AgBkC \ldots$ sich immer enger der Kurve $0K$ anschließt. Bald werden daher die Erhebungen und Senkungen so klein, daß die Intensitätsschwankungen unmerklich werden: die Empfindung wird gleichmäßig.

Als *Verschmelzungsfrequenz* bezeichnet man die Anzahl Male, die sich die periodischen Reize in einer Sekunde wiederholen müssen, um eine kontinuierliche Empfindung zu ergeben, wenn die reizlosen Intervalle dieselbe Dauer wie die Reize haben. Es sei diese Frequenz f; die Dauer τ des reizlosen Intervalles, die *Verschmelzungszeit*, ist dann $\tau = \frac{1}{2f}$. Diese Verschmelzungszeit τ muß von dem zeitlichen Verlauf des positiven Nachbildes abhängig sein; je schneller das Nachbild an Stärke abnimmt, um so kürzer muß τ sein, damit das Flackern eben verschwindet. Im vorhergehenden haben wir aber gesehen, daß die Dauer und mithin auch der ganze zeitliche Verlauf des Nachbildes durch die zersetzte Stoffmenge U bestimmt ist. Es muß also zwischen τ und U eine Beziehung bestehen, die wir im folgenden nachzuweisen versuchen werden. Die Bestimmung des U ist nämlich einerseits von großer Bedeutung, indem man dadurch den zeitlichen Verlauf der Erregung kennen lernen kann, andererseits aber mit solchen Schwierigkeiten verbunden (S. 223), daß sie die größten Anforderungen

an die Ausdauer und Geschicklickeit des Beobachters stellt. Ein einfacherer Weg zur Lösung derselben Aufgabe wird daher wertvoll sein.

Suchen wir die Beziehung zwischen den Werten des $\frac{U}{R}$ nach 5 Sek. Reizdauer und der Verschmelzungszeit τ, so muß die letztere auch nach 5 Sek. Beobachtungszeit bestimmt werden; die Nachbilder und damit τ verändern sich ja, wie wir wissen, eben mit der Reizdauer. Daß τ wirklich bei dauernder Beobachtung des periodisch beleuchteten Feldes mit der Zeit variiert, kann leicht direkt wahrgenommen werden. Hat die rotierende Scheibe eine solche Geschwindigkeit, daß das Flackern beim ersten Blick eben merklich ist, so verschwindet es in wenigen Sekunden. Nach längerer Beobachtung kann man die Geschwindigkeit erheblich herabsetzen, ohne daß das Flackern merklich wird. Eine konstante Beobachtungszeit ist mithin streng innezuhalten. In der Tab. 18 gebe ich die Resultate einer solchen Reihe Messungen wieder; R sind die untersuchten Reizstärken, τ die nach 5 Sek. Beobachtungszeit gefundenen Verschmelzungszeiten. Die Beziehung zwischen τ und R läßt sich durch die Formel:

$$\tau = 45{,}2 - 7{,}038 \cdot log\, R + 0{,}000\,017\,82 \cdot log^7 R$$

ausdrücken[1]). Die hiernach berechneten Werte τ sind in Tab. 18 in der Reihe „τ *ber.*“ angeführt. Die Übereinstimmung mit den gemessenen Werten zeigt, daß τ durch eine Gleichung von der Form:

$$\tau = k - k_1 \cdot log\, R + k_2 \cdot log^c R \;. \;. \;. \;. \;. \;. \quad \text{(Gl. 37)}$$

bestimmt ist; die Konstanten k, k_1, k_2 und c unterliegen, meinen Messungen zufolge, keinen großen individuellen Variationen.

---

[1]) Ich habe früher (Elemente der Psychodynamik, S. 190 u. f.) die Gültigkeit der Formel $\tau = k - k_1 \cdot log\, R$ für kleinere Werte des R nachgewiesen. Die Abweichung von dieser Formel bei Werten des $R > 8192$ ließ sich dem Anschein nach auf eine durch Blendung verursachte zentrale Hemmung zurückführen und nach der für diese Erscheinung geltenden Formel berechnen. Dies trifft denn auch für die hier vorliegenden Messungen zu. Man muß aber dann, je nachdem $R \lesseqgtr 8192$, mit zwei verschiedenen Formeln operieren. Da eine solche doppelte Buchführung äußerst unzweckmäßig ist, ziehe ich es vor, hier mit einer empirischen Formel zu arbeiten, die sämtliche Intensitäten umfaßt. Die folgenden Betrachtungen gewinnen dadurch jedenfalls an Übersichtlichkeit.

Tabelle 18.

$R =$	1	4	16	64	256	1024	4096	16384	65536	262144	1048576
τ	45,9	40,5	36,2	32,6	28,6	24,1	19,6	15,9	11,8	9,3	8,5
τ *ber.*	45,2	41,0	36,7	32,5	28,3	24,0	19,9	15,9	12,4	9,5	7,9

In Fig. 42 sind $\log R$ als Abszisse, τ als Ordinate abgesetzt; die Kurve D stellt die funktionelle Beziehung zwischen τ und R graphisch dar. Die Kurve verläuft fast geradlinig bis zu $R = 16384$, wo eine geringe Biegung anfängt.

Bei diesen Messungen wurden die Scheiben mittels eines leicht verstellbaren, genauen Motors in Rotation versetzt, die Beobachtungszeit nach einer jede fünf Sekunden markierenden Uhr reguliert. Die Scheibe rotierte vor dem Spalt des oben (S. 198, Anm.) erwähnten Spektrophotometers. Die Werte der Tab. 18 weichen ein wenig von den von mir früher gefundenen ab, teils weil ich damals keine konstante Beobachtungszeit innehielt, teils weil die Bestimmung der Lichtstärke mittels des angewandten Spiegelepiskotisters viel genauer ist [1]).

Die Werte τ geben die Verschmelzungszeiten unter der Voraussetzung an, daß die Reizdauer ebenso groß wie das reizlose Intervall ist. Aus Tab. 18 ersieht man, daß die Dauer der kleinsten Reize bis sechsmal größer als die der stärksten Reize ist. Da die Erregung aber dem Produkt $R \cdot T$ proportional ist, hat eine größere Reizdauer genau dieselbe Wirkung wie eine größere Reizstärke. Es muß daher die Abhängigkeit der Verschmelzungszeit von der Reizstärke bei konstanter Reizdauer bestimmt werden. Dies kann denn auch keine Schwierigkeiten bereiten. Wird nämlich die Intensität des hellen Sektors n mal kleiner, so wird, Gleich. 37 zufolge, die Reizdauer τ':

$$\tau' = k - k_1 \cdot \log \frac{R}{n} + k_2 \cdot \log^c \frac{R}{n}.$$

Ganz dieselbe Wirkung würde erreicht werden, wenn bei unveränderter Intensität R die Größe des hellen Sektors n mal kleiner wäre. Dann wäre die Reizdauer $\frac{\tau'}{n}$, und die beiden Scheiben würden dieselbe Helligkeit haben, indem $\frac{R}{n} \cdot \tau' = R \cdot \frac{\tau'}{n}$. Gleich große Helligkeiten können die beiden Scheiben aber nur dann haben, wenn die Nachbilder während der reizlosen Inter-

[1]) Lehmann: Note relative à un épiskotistère à miroirs. Bulletin de l'académie de Danemark 1909, S. 541.

valle gleich stark abnehmen; da nämlich jede der periodischen Reizungen dieselbe Zunahme der Erregung herbeiführt, muß die Erregung auch im reizlosen Intervall gleich stark sinken. Im ersteren Falle, wenn die Intensität $\frac{R}{n}$ ist, ist das reizlose Intervall τ', im letzteren Falle, wenn die Reizdauer $\frac{\tau'}{n}$ ist, wird das reizlose Intervall δ:

$$\delta = 2\,\tau' - \frac{\tau'}{n} = \frac{2\,n-1}{n}\tau' = \frac{2\,n-1}{n}\left(k - k_1 \cdot log\frac{R}{n} + k_2 \cdot log^c\frac{R}{n}\right) \text{(Gl.38)}.$$

Die Gleich. 38 gibt die Dauer des reizlosen Intervalles δ einer rotierenden Scheibe an, wenn der helle Sektor die Helligkeit R und eine Winkelgröße gleich $\frac{1}{2n}$ der Peripherie hat. Die Gültigkeit der Gleichung läßt sich leicht prüfen, wenn man δ für verschiedene Werte n mißt. Sind ferner die Konstanten der Gleich. 38 für dasselbe Auge bekannt, kann δ berechnet werden. In Tab. 19 sind die gemessenen und die berechneten Werte δ zusammengestellt, indem die konstante Reizstärke $R = 16\,384$ war; die Gültigkeit der Gleich. 38 kann hiernach keinem Zweifel unterliegen.

Tabelle 19.

$\frac{1}{2n} =$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{16}$	$\frac{1}{32}$	$\frac{1}{64}$
n	1	2	4	8	16	32
δ	16,2	26,5	35,3	45,0	47,8	54,8
δ *ber.*	15,9	27,0	35,4	42,0	47,9	53,0

Mittels Gleich. 38 läßt sich δ für eine beliebige konstante Reizdauer berechnen. Da der kleinste der in Tab. 18 vorkommenden Werte des τ 8^σ ist, führen wir die Berechnungen für diesen Wert durch. Wird in Gleich. 38 $n = 1$ gesetzt, so wird die Reizdauer gleich τ; soll die Reizdauer auf 8^σ herabgesetzt werden, muß mithin $n = \frac{\tau}{8}$ gesetzt werden. Gleich. 38 nimmt dann die folgende Form an:

$$\delta_8 = \frac{2\,\tau - 8}{\tau}\left(k - k_1 \cdot log\,R + k_2 \cdot log^c R + k_1 \cdot log\frac{\tau}{8} - k_2 log^c\frac{\tau}{8}\right)$$

$$= \frac{2\,\tau - 8}{\tau}\left(\tau + k_1 \cdot log\frac{\tau}{8}\right) \text{. . . . . . . (Gl. 39)},$$

indem das letzte Glied immer so klein wird, daß es ganz vernachlässigt werden darf. Wenn also τ mittels gleich großer, heller und dunkler Sektoren bestimmt worden ist, läßt sich

Gleich. 39 zufolge der Verschmelzungszeit δ_8 für die konstante Reizdauer 8^0 berechnen. In der Tab. 20 sind für jede der untersuchten Reizstärken neben τ die nach Gleich. 39 berechneten Werte δ_8 und ferner die früher gefundenen Werte $\frac{U}{R}$ nach 5 Sek. Beobachtungszeit (Tab. 15) angeführt. Die gesuchte Beziehung zwischen $\frac{U}{R}$ und δ_8 tritt hier leicht hervor, indem man findet:

$$\frac{U}{R} = C \cdot \delta_8 \text{ oder: } U = C \cdot R \cdot \delta_8 \; . \; . \; . \; . \; . \; \text{(Gl. 40)},$$

wo C eine Konstante ist. In der Tab. 20 sind die nach Gleich. 40 berechneten Werte C wiedergegeben; sie schwanken nur wenig ohne jede Gesetzmäßigkeit, so daß C tatsächlich als eine Konstante angesehen werden darf. Der wahrscheinliche Wert ist $C = 0{,}75$; wird dieser in die Gleich. 40 eingesetzt, können die Werte $\frac{U}{R}$ berechnet werden. Diese berechneten Werte $\frac{U}{R}$ sind ebenfalls in Tab. 20 (so wie auch in Tab. 15) aufgeführt; ihre Übereinstimmung mit den gemessenen $\frac{U}{R}$ ist einfach merkwürdig in Anbetracht der Schwierigkeiten, mit denen die Messung des $\frac{U}{R}$ verbunden ist. Die in Fig. 40 eingezeichnete Kurve ist durch die berechneten Werte gelegt. Wir dürfen hiernach feststellen: *Die in einer konstanten Zeit durch eine kontinuierliche Reizung der Netzhaut zersetzte und nicht wieder aufgebaute Stoffmenge U wächst der Reizstärke R nicht völlig proportional, indem sie verhältnismäßig um so weniger zunimmt, je kleiner die Verschmelzungszeit des betreffenden Reizes bei periodischer Reizung von konstanter Dauer ist.*

Tabelle 20.

R	τ	δ_8	$\frac{U}{R}$	C	ber. $\frac{U}{R}$	$\frac{\delta_8}{92{,}1}$
1	45,2	92,1			69,0	1,000
4	41,0	83,0			62,2	0,902
16	36,7	73,6	58,1	0,790	55,2	0,799
64	32,5	64,3	51,2	0,796	48,2	0,698
256	28,3	55,1	41,3	0,750	41,3	0,598
1 024	24,0	45,5	34,5	0,758	34,1	0,495
4 096	19,9	36,1	24,1	0,668	27,1	0,392
8 192	17,9	31,5	22,0	0,698	23,6	0,342
16 384	15,9	26,8	20,2	0,754	20,1	0,291
65 536	12,4	18,6	11,9	0,640	13,9	0,202
262 144	9,5	11,6	9,5	0,818	8,7	0,126
1 048 576	7,9	7,7	5,2	0,675	5,8	0,084

Aus diesem Satze ergibt sich eine Reihe bedeutungsvoller Konsequenzen. Erstens haben wir jetzt einen genaueren Ausdruck für die durch einen Lichtreiz R bewirkte Nervenerregung gewonnen. Da $\frac{U}{R}$ Gleich. 39 und 40 zufolge nur eine Funktion des τ ist, läßt $\frac{U}{R}$ sich immer durch eine Formel folgender Form:

$$\frac{U}{R} = a - b \cdot log\, R + d \cdot log^2\, R + \ldots$$

oder:

$$U = R \cdot [a - b \cdot log\, R + \ldots] \quad \ldots\ldots\ldots \text{(Gl. 41)}$$

ausdrücken. Wie viele Glieder man hier mitnehmen soll, ist ausschließlich Sache der geforderten Genauigkeit. Da die Nervenerregung durch U bestimmt ist, muß in Gleich. 22 U statt R gesetzt werden, wodurch wir den Ausdruck erhalten:

$$E = c \cdot log\left(1 + \frac{U}{\varkappa}\right) = c\, log\left[1 + \frac{R}{\varkappa}(a - b \cdot log\, R + \ldots)\right] \quad \text{(Gl. 42)}.$$

Wie ich schon früher nachgewiesen habe, kann eine Übereinstimmung der Berechnungen mit genauen Messungen nur dann erreicht werden, wenn man von der Gleich. 42 ausgeht.

Zweitens haben wir eine Methode zur genauen Bestimmung der relativen Größe des $\frac{U}{R}$ gewonnen. Die direkte Messung dieser Größe ist äußerst mühsam, dagegen läßt sich τ leicht und sicher bestimmen. Aus τ kann dann z. B. δ_8 berechnet werden, und dieser letzteren Größe ist $\frac{U}{R}$ proportional. Den Proportionalitätsfaktor kennt man zwar nicht, nimmt man aber den der Reizstärke $R = 1$ entsprechenden Wert als Einheit, so erhält man eine Reihe von Zahlen, die den relativen Wert des $\frac{U}{R}$ angeben. Die letzte Kolonne in Tab. 20 enthält diese Proportionalzahlen, woraus die starke Abnahme des $\frac{U}{R}$ mit wachsendem R ersichtlich ist.

Ferner können wir aus dem Vorhergehenden schließen, daß die Verschmelzungszeit farbiger Lichter von der Wellenlänge unabhängig und nur durch die Helligkeit der Farbe bestimmt ist. Die Verschmelzungszeit ist nämlich durch die Geschwindigkeit bestimmt, mit der die Stärke des Nachbildes abnimmt; diese Geschwindigkeit ist aber (vgl. Tab. 16 und 17) nur eine Funktion der Helligkeit und unabhängig von der Wellenlänge. Daraus folgt obiger Satz, der sich auch so formulieren läßt: *Gleich hellen Farben entsprechen gleich große Verschmelzungszeiten.* Um die Richtigkeit des Satzes nachzuweisen, sind in Tab. 21

beispielsweise für die Farben 630 $\mu\mu$ und 490 $\mu\mu$ die gemessenen Werte τ angegeben, die den Reizstärken R_λ entsprechen; die Größen τ sind bei konstanter Beobachtungszeit, 5 Sek., bestimmt. In der Fig. 42 sind diese Werte graphisch dargestellt und bestimmen die Kurven 630 und 490; es ist leicht ersichtlich, daß

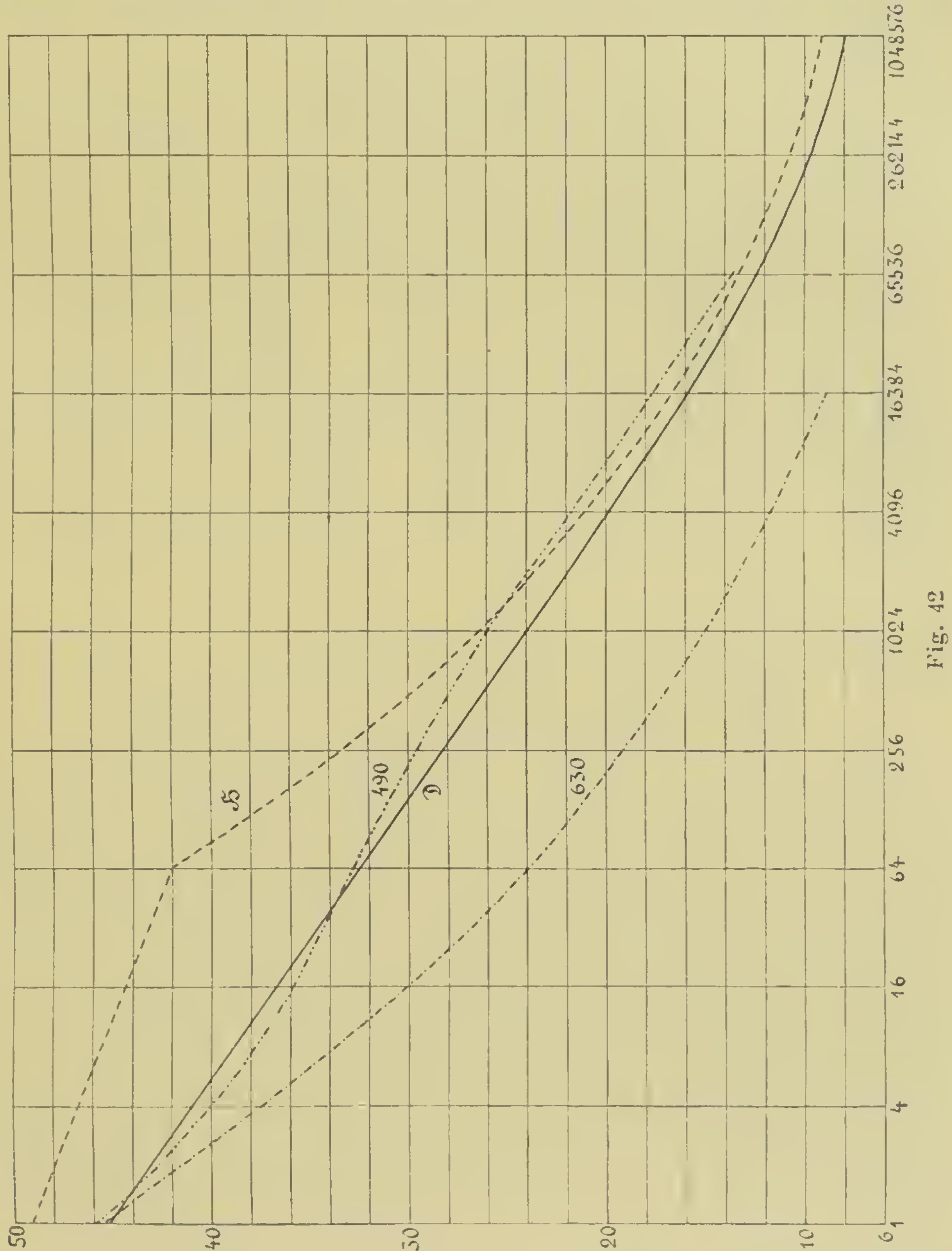


Fig. 42

gleich große Werte τ keineswegs gleich großen Reizstärken entsprechen. In den folgenden Kolonnen der Tab. 21 sind die Werte R_λ angegeben, die dieselbe Helligkeit haben wie die angeführten Werte R_w; diese Werte des R_λ für 630 $\mu\mu$ und 490 $\mu\mu$ sind einfach der Tab. 10 entnommen. Die den erwähnten Werten R_λ entsprechenden Größen des τ sind durch Interpolation aus den gemessenen Werten berechnet; sie sind

in den beiden letzten Kolonnen neben den Werten τ für weißes Licht wiedergegeben. Wie zu erwarten stand, stimmen die drei Reihen Werte des τ durchweg sehr wohl miteinander überein; nur fallen die Werte τ, die für kleine Reizstärken der roten Lichter gefunden werden, immer zu klein aus. Die Ursache dieser kleinen Abweichung ist noch nicht aufgeklärt.

Tabelle 21.

R_λ	τ		R			τ		
	630	490	weiß	630 $\mu\mu$	490 $\mu\mu$	weiß	630	490
1	46,4	45,4	1	1,00	1,00	45,2	46,4	45,4
4	38,4	40,3	4	3,07	3,94	41,0	39,7	40,1
16	30,1	35,8	16	8,41	16,15	36,7	33,8	35,9
64	24,1	32,8	64	16,87	65,7	32,5	29,7	32,8
256	19,2	29,7	256	28,1	318	28,3	27,4	29,0
1 024	15,0	26,0	1 024	60,4	1 508	24,0	24,1	24,7
4 096	11,6	21,8	4 096	151,4	9 320	19,9	20,8	19,0
16 384		17,7	16 384	543	32 700	15,9	16,7	15,7
65 536		13,6	65 536	2224	125 500	12,4	13,0	12,1

Neunundzwanzigstes Kapitel.

Die Umstimmung der Netzhaut.

Wir sahen schon oben, daß die Erregung bei längerer Reizdauer nicht der Zeit proportional ist, sondern mit wachsender Reizdauer immer langsamer wächst (Fig. 39). Die vorhergehende Wirkung eines gegebenen Reizes beeinflußt mithin die folgende, so daß der Zuwachs der Wirkung immer geringer wird. Ob wir nun denselben Reiz konstant einwirken lassen oder plötzlich die Reizstärke verändern, ist in dieser Beziehung augenscheinlich belanglos; der neue Reiz wird, eben weil die Netzhaut im voraus gereizt war, in bestimmter Zeit eine geringere Wirkung ausüben, als es ohne die vorhergehende Reizung der Fall sein würde. Diese Veränderung der Netzhaut durch einen vorhergehenden Reiz nennt man ihre *Umstimmung*, und es wird die Aufgabe sein, nachzuweisen, welche Wirkungen die verschiedenen „Stimmungen“ der Netzhaut hervorrufen. Da die Anzahl der möglichen Umstimmungen indes fast unendlich ist, so müssen wir uns darauf beschränken, die Hauptzüge der intensiven und qualitativen Veränderungen anzugeben, die eine Umstimmung mittels weißen oder farbigen Lichtes zur Folge haben.

Die Intensitätsveränderungen sind schon durch die oben erwähnte Tatsache festgestellt: jede vorausgehende Reizung bewirkt, daß der folgende Reiz eine geringere Wirkung ausübt, als wenn keine Reizung vorausgegangen wäre. Auf verschiedene Weise kann man sich von der Richtigkeit dieses Satzes überzeugen, am einfachsten mittels der Nachbilder, die überhaupt zur Untersuchung der Umstimmungen sehr geeignet sind. Eine vollständige Dunkeladaptation, wie wir sie im Vorhergehenden stets vorausgesetzt haben, ist dazu nicht notwendig; man braucht nur die Augen einige Minuten zu schließen, bis alle Nachbilder vorhergehender Reizungen verschwunden sind. Betrachtet man dann etwa 10 Sek. ein kleines Stück weißes Papier auf einem schwarzen Hintergrund in gewöhnlicher Tagesbeleuchtung, so sieht man nachher das positive Nachbild, wenn der Blick gegen den dunklen Hintergrund gerichtet wird. Betrachtet man dagegen einen nebenliegenden Bogen weißen Papiers, so wird das Nachbild negativ, dunkel auf dem hellen Grunde. Der neue Reiz übt also eine relativ schwächere Wirkung auf den Teil der Netzhaut aus, der schon vorher gereizt war. Man überzeugt sich übrigens leicht davon, daß dieses negative Nachbild einfach das positive Nachbild ist, das nur unter andern Umständen gesehen wird. Richtet man nämlich das Auge wieder gegen den dunklen Hintergrund, so tritt das Nachbild auch wieder positiv hervor. Auf diese Weise kann man das Nachbild mehrmals nach Belieben positiv oder negativ sehen.

Helmholtz nahm an, daß die Veränderung, die eine vorliegende Umstimmung auf die Wirkung gegebener Reize ausübte, sich als eine proportionale Veränderung sämtlicher Reize ausdrücken ließe[1]). Es sei die Netzhaut durch einen konstanten Reiz R_c umgestimmt; die durch den Reiz R_v hervorgerufene Erregung wird dann, dem Helmholtz'schen Satze zufolge, gleich derjenigen, die der Reiz αR_v auf der unveränderten Netzhaut hervorbringen könnte, indem α selbstverständlich ein von R_c abhängiger Faktor ist (der Koeffizientensatz). Diese Annahme entspricht jedoch kaum den Tatsachen. Gleich. 41 zufolge ist die relative Wirkung $\frac{U}{R}$ keine konstante Größe, sondern sie nimmt mit wachsendem R ab, was beweist, daß

[1]) Helmholtz: Physiol. Optik, 2. Aufl. S. 508. Wirth: Der Fechner-Helmholtzsche Satz über negative Nachbilder. Phil. Stud. Bd. 16. Kries: Der Koeffizientensatz. Nagels Handbuch, 3. Bd. S. 211.

die Wirkung eines Reizes um so mehr abnimmt, je größer die schon bestehende Wirkung ist. Die Wirkung des Reizes R_v muß daher nicht ausschließlich von dem umstimmenden Reize R_c, sondern von dem Verhältnis $\frac{R_v}{R_c}$ so abhängig sein, daß sie um so kleiner wird, je größer R_c im Verhältnis zu R_v ist. Mit einer für unsere Zwecke hinreichenden Genauigkeit wird die Wirkung U_v des Reizes R_v in der Zeit T, wenn R_v auf die dunkeladaptierte Netzhaut einwirkt, Gleich. 41 zufolge:

$$\frac{U_v}{R_v} = a - b \cdot log \cdot R_v.$$

Ist die Netzhaut aber im Voraus durch den Reiz R_c umgestimmt worden, so steht zu erwarten, daß:

$$\frac{U_v}{R_v} = m - n \cdot log \cdot \frac{R_c}{R_v}$$

Wird hier $R_v = R_c$, so wird $\frac{U_v}{R_v} = m = \frac{U_c}{R_c}$, wo U_c die während der Zeit T vom umstimmenden Reize hervorgebrachte Wirkung bedeutet. Man hat also:

$$\frac{U_v}{R_v} = \frac{U_c}{R_c} - n \cdot log \cdot \frac{R_c}{R_v} \quad \ldots\ldots\ldots \text{(Gl. 43).}$$

Wird hier $R_c < R_v$, so wird $\frac{U_v}{R_v} > \frac{U_c}{R_c}$, und umgekehrt, wenn $R_c > R_v$, so wird $\frac{U_v}{R_v} < \frac{U_c}{R_c}$; die Gleich. 43 erfüllt also jedenfalls die Forderung, daß $\frac{U_v}{R_v}$ um so kleiner ausfällt, je größer die vorhergehende Erregung durch R_c ist. Die Gültigkeit der Gleichung wird nun tatsächlich von den Messungen Wirths bestätigt[1]). Wirth stimmte einen Teil der Netzhaut durch den konstanten Reiz R_c in 20 Sek. um. Auf diesem umgestimmten Teil wirkten darauf die Reize R_v ein, während die Wirkung des R_v durch den Reiz gemessen wurde, der in der unveränderten, nicht umgestimmten Netzhaut in kurzer Zeit dieselbe Wirkung hervorbringen konnte. In der Tab. 22 sind die Resultate dieser Messungen wiedergegeben; die Reize sind hier durch ein willkürliches Maß ausgedrückt. U_v ist die auf die erwähnte Weise gemessene Wirkung, und ferner sind

---

[1]) A. a. O. S. 504, vgl. Lehmann: Elemente der Psychodynamik, S. 213 u. f.

Tabelle 22.

R_v	U_v	$\frac{U_v}{R_v}$	$\frac{U_v}{R_v}$ *ber.*
7,36	2,93	0,398	0,398
18,04	8,12	0,448	0,439
52,16	24,92	0,472	0,487
100,52	49,10	0,490	0,517
111,44	58,24	0,522	0,522
122,28	66,08	0.540	0,526
147.60	82,52	0,558	0,535

die berechneten Werte $\frac{U_v}{R_v}$ angeführt. Der umstimmende Reiz war $R_c = 52,16$; dem Reize $R_v = 52,16$ entspricht $U_v = 24,92$, und somit ist die Größe $\frac{U_c}{R_c} = 0,472$. Da dieser Wert selbstverständlich mit den unvermeidlichen Messungsfehlern behaftet ist, können wir die wahrscheinlichen Werte $\frac{U_c}{R_c}$ und n berechnen. Man hat dann:

$$\frac{U_v}{R_v} = 0,487 - 0,105 \; log \cdot \frac{R_c}{R_v}$$

Hieraus sind die angeführten Werte „$\frac{U_v}{R_v}$ *ber.*" berechnet, die mit den gemessenen eine befriedigende Übereinstimmung zeigen. Der wahrscheinliche Wert $\frac{U_c}{R_c} = 0,487$ stimmt auch sehr gut mit dem sich unmittelbar aus den Messungen ergebenden Wert 0,472 überein. Da auch die von Wirth unter komplizierteren Umständen gemessenen Größen U_v mit Gleich. 43 übereinstimmen, so ist damit dargetan, daß *der Koeffizientensatz keine Gültigkeit hat.* Die Gleich. 43 gibt dagegen einen annähernden Ausdruck für die Wirkung, die R_v in der durch R_c umgestimmten Netzhaut hervorruft.

Die häufigst vorkommende und daher bedeutungsvollste Umstimmung der Netzhaut ist die *Helladaptation*, die durch das fortwährend einwirkende Tageslicht oder durch eine künstliche Beleuchtung erzeugt wird. Tatsächlich werden fast alle Beobachtungen des täglichen Lebens mit helladaptierter Netzhaut ausgeführt; eine Dunkeladaptation, wie wir es im Vorhergehenden stets vorausgesetzt haben, kommt sonst nur ausnahmsweise vor. Für unsere Untersuchungen war sie jedoch notwendig, damit wir von einem konstanten Zustand der

Netzhaut ausgehen könnten; jetzt wird es die Aufgabe sein, nachzuweisen, wie die früher gefundenen Gesetze durch die Helladaptation modifiziert werden.

Die Helladaptation ist ein Erregungszustand, der sich von den oben untersuchten Umstimmungen nur in den unwesentlichen Beziehungen unterscheidet, daß erstens bei der gewöhnlichen Helladaptation die ganze Netzhaut umgestimmt wird, während bei den experimentell erzeugten Umstimmungen fast immer nur beschränkte Teile der Netzhaut beeinflußt werden, und daß zweitens bei der eigentlichen Helladaptation der umstimmende Reiz sehr lange einwirkt, weshalb eine dauernde Unempfindlichkeit für schwache Reize erzeugt wird. Wir sahen schon oben (Tab. 17) bei der Untersuchung von Nachbildern farbiger Reize, daß sich nach länger dauernden Reizungen zwei verschiedene Nachwirkungen unterscheiden ließen, nämlich erstens das positive Nachbild, das bald verschwand, und zweitens die dauernde Unempfindlichkeit für schwache Reize, die mit wachsender Reizdauer sehr stark anwuchs. Die Einwirkung eines mittelstarken Reizes in 10 Sek. führt schon eine über 1 Min. dauernde Unempfindlichkeit herbei; wird die dunkeladaptierte Netzhaut der Tageshelligkeit 2—5 Min. ausgesetzt, dauert die Herabsetzung der Empfindlichkeit 10—20 Min.

Die Ursache dieser verminderten Empfindlichkeit der helladaptierten Netzhaut kann keinem Zweifel unterliegen. Erstens findet man, wie wir im folgenden sehen werden, daß die Erscheinungen, die wir dem Sehpurpur als Sensibilisator zugeschrieben haben, nach der Helladaptation vollständig fehlen. Zweitens wissen wir, daß der Sehpurpur, dem Lichte ausgesetzt, in wenigen Minuten bleicht und untätig wird. Wir dürfen daher feststellen: *die Unempfindlichkeit der Netzhaut für schwache Reize, die bei dauernder Einwirkung starker Reize in wenigen Minuten eintritt, beruht darauf, daß der Sehpurpur des Stäbchenapparates untätig wird.* Umgekehrt beruht also die Dunkeladaptation auf einer Regeneration des Sehpurpurs; bis diese stattgefunden hat, bemerkt man im Dunkeln gewöhnlich einen schwachen Lichtschimmer, das sogenannte *Eigenlicht der Netzhaut.*

Da die Helladaptation eine allgemeine Umstimmung der Netzhaut ist, so steht zu erwarten, daß die mit der Helladaptation einhergehenden Veränderungen in betreff der Intensität der Empfindungen die Gleich. 43 befolgen. Je größer also die Intensität, bei der die Netzhaut helladaptiert worden

ist, um so geringer werden die Wirkungen gegebener Reize. Daß dies zutrifft, läßt sich leicht nachweisen, wenn man die Netzhaut für verschiedene Helligkeiten adaptiert und die kleinste Reizstärke, den Schwellenwert, bestimmt, die noch eben bemerkt werden kann. Nach einer 5 Min. dauernden Betrachtung des hellen, wolkenlosen Himmels fand ich den Schwellenwert 600 bis 1000, nach normaler Helladaptation in einer sehr hellen Stube als Mittel zahlreicher Bestimmungen 63 und an einem sehr dunklen Wintertag 1,4. Bei normaler Helladaptation ist der Schwellenwert übrigens nur kleinen, individuellen Schwankungen unterworfen und außerdem, innerhalb gewisser Grenzen, von der Adaptationsdauer unabhängig [1]). Etwa 5 Min. genügen, um den Zustand herbeizuführen [2]).

Das Zustandekommen der *Dunkeladaptation* läßt sich auf die Weise bestimmen, daß man beim Aufenthalt im Dunkeln von Zeit zu Zeit die Größe des Schwellenwertes mißt. Fig. 43 gibt eine graphische Darstellung des Verlaufs, indem die Zeit vom Anfang der Dunkeladaptation gerechnet als Abszisse, der Logarithmus des Schwellenwertes als Ordinate abgesetzt ist.

In der Figur sind die Resultate dreier Versuchsreihen angegeben, die mit der obenerwähnten, sehr verschiedenen Stärke der Helladaptation angefangen wurden. Die Werte der Kurve II sind Mittel aus je 6, zu verschiedenen Jahreszeiten ausgeführten Bestimmungen nach Helladaptation in einer hellen Stube. Die Kurve I wurde an einem dunklen Wintertag, die Kurve III nach Betrachtung des wolkenlosen Himmels an einem Sommertag erhalten. Die Kurven können fast vollständig zur Deckung gebracht werden, wenn nur die Abszisse des Anfangspunktes verschoben wird. Dies heißt mit anderen Worten: *der Verlauf der Adaptationskurve ist von der größeren oder geringeren Helladaptation unabhängig; nur die Zeit, in der ein bestimmter Schwellenwert erreicht wird, ist um so größer, je stärker die anfängliche Helladaptation ist* [3]). Die Kurve IV der Fig. 43 ist Pipers Arbeit entnommen [4]). Der Adaptationszustand war hier derselbe wie der der Kurve II,

---

[1]) Piper: Über Dunkeladaptation. Zeitschrift für Psychol. Bd. 31, S. 172.

[2]) Lohmann: Über Helladaptation. Zeitschr. für Sinnesphys. Bd. 41, S. 308.

[3]) Piper, a. a. O. S. 184.

[4]) Piper, a. a. O. S. 178. vgl. Lehmann: Über zwei verschiedene Formen der Helladaptation. Folia neurobiologica, Bd. 3, S. 8.

mit welcher die Kurve IV in den ersten 15 Min. sehr gut übereinstimmt; dann sinkt sie aber weit tiefer herab. Mehrere Umstände tragen hierzu bei. Nach Pipers Untersuchungen *sind die individuellen Unterschiede der schließlichen Schwellenwerte sehr groß;* außerdem kommt in Betracht, daß *das zu erreichende Minimum des Schwellenwertes mit wachsender Größe des Gesichtsfeldes sinkt.* Das leuchtende Objekt der Piperschen Messungen war aber fast sechsmal so groß als das der meinigen. Schließlich wurden meine Bestimmungen monukulär, die Piperschen aber binokulär ausgeführt. Bei binokulärer Betrachtung ist das zu erreichende Minimum des Schwellenwertes fast nur die Hälfte desjenigen der monokulären Betrachtung. Dieser Umstand trägt also auch dazu bei, den Unterschied der beiden Reihen zu vergrößern.

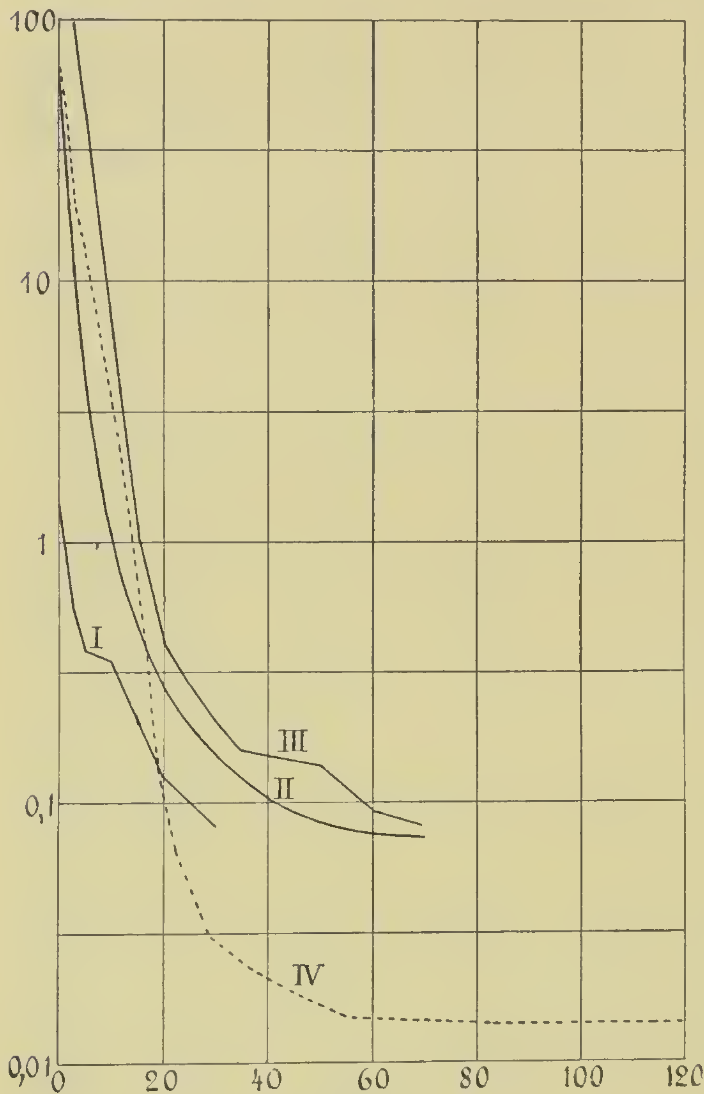


Fig. 43.

Obwohl die Helladaptation, wie Fig. 43 zeigt, unabhängig vom Anfangszustand fast auf dieselbe Weise abnimmt, besteht dennoch ein wesentlicher Unterschied zwischen der *normalen* Helladaptation, die durch die gewöhnliche Tageshelligkeit herbeigeführt wird, und derjenigen *extremen* Adaptation, die durch die Betrachtung des hellen, wolkenlosen Himmels entsteht. Der Unterschied zeigt sich besonders bei der Bestimmung der Verschmelzungszeiten. In Tab. 23 sind in der ersten Reihe die Reizstärken und darunter die entsprechenden, mit normal helladaptiertem Auge bestimmten Verschmelzungszeiten angeführt. In der folgenden Reihe sind die oben

(Tab. 18) angeführten Verschmelzungszeiten des dunkeladaptierten Auges und schließlich, in der letzten Reihe, ein paar bei extremer Helladaptation gefundene Werte wiedergegeben.

Tab. 23

$R =$	1	4	16	64	256	1024
Helladaptation	49,3	46,5	44,2	42,0	33,7	26,1
Dunkeladaptation . . .	45,2	41,0	36,7	32,5	28,3	24,0
extreme Helladaptation .					22,4	18,4

$R =$	4096	16 384	65 536	262 144	1 048 576
Helladaptation	21,1	16,5	13,3	10,6	9,1
Dunkeladaptation . . .	19,9	15,9	12,4	9,5	7,9

Die Werte des helladaptierten Auges sind in Fig. 42, Kurve H, graphisch dargestellt. Zwei Tatsachen treten hier hervor: 1. die Verschmelzungszeiten des helladaptierten Auges sind alle größer als die des Dunkelauges (Kurve D der Fig. 42), und 2. die Kurve biegt bei $R = 64$ scharf um.

Der erstere Umstand ist leicht verständlich. Das helladaptierte Auge befindet sich in einem hohen Erregungszustand, so daß die periodischen Reize eine schwächere Wirkung als auf der dunkeladaptierten Netzhaut hervorbringen. Je schwächer die Reize im Verhältnis zur Adaptationshelligkeit sind, um so geringer wird die durch dieselben hervorgerufene Erregung (Gleich. 43). Die Helladaptation hat mithin dieselbe Wirkung, als ob die Reize schwächer wären; folglich werden die Verschmelzungszeiten größer als die der dunkeladaptierten Netzhaut und um so mehr, je kleiner die Reizstärke. Eben dies geht aus der Fig. 42 hervor.

Die Biegung der Kurve bei $R = 64$ ist zunächst eine Täuschung; eigentlich sollte die Kurve hier enden. Bei den Intensitäten kleiner als 64 läßt sich die Verschmelzungszeit mit helladaptiertem Auge gar nicht bestimmen, weil diese Reize unter dem Schwellenwert liegen (Fig. 43). Wenn hier dennoch Werte erhalten werden, beruht es einfach darauf, daß man nach der Helladaptation so lange wartet, bis sich eine größere oder geringere Dunkeladaptation eingestellt hat. Alle Werte sind deshalb hier fast gleich groß, weil die Reize

den jeweiligen Schwellenwert eben überschreiten. Man kann also streng genommen nicht sagen, daß sie mit helladaptiertem Auge bestimmt sind.

Die angeführten Tatsachen betreffen, wie gesagt, nur die bei gewöhnlicher Tagesbeleuchtung zu erreichende normale Helladaptation. Bei extremer Helladaptation findet man dagegen weit kürzere Verschmelzungszeiten (Tab. 23), obwohl die periodischen Reize unter diesem Umstande eine noch geringere Wirkung hervorbringen als bei der normalen Helladaptation. Die Tatsache ist indes über jeden Zweifel erhaben [1]; untersucht man nämlich die Größe der Verschmelzungszeiten bei zunehmender Dunkeladaptation, indem man ein Mal von der normalen, ein anderes Mal von der extremen Helladaptation ausgeht, so findet man den in Tab. 24 angegebenen Verlauf. Die erste Reihe enthält die Anzahl der Minuten vom Aufhören der Helladaptation gerechnet, die folgenden Reihen die für $R = 256$ gefundenen Verschmelzungszeiten.

Tab. 24.

Zeit	0	2	5	10	15	18	22
Helladaptation	33,7		31,8	30,9		30.0	28,9
extreme Helladaptation .		22,4	23,7	25,0	27.2	28.7	28,5

Diese letzteren Zeiten stimmen erst dann überein, wenn die Dunkeladaptation 22 Min. nach dem Aufhören der Helladaptation eingetreten ist, was beweist, daß der Zustand der Netzhaut, während des Überganges von der extremen Helladaptation bis zur Dunkeladaptation, mit dem analogen Zustand nach normaler Helladaptation nicht identisch ist. Wäre dies der Fall, so müßte man an irgend einem Zeitpunkt nach der extremen Helladaptation dieselben langen Verschmelzungszeiten nachweisen können, die nach normaler Helladaptation gefunden werden; es ist aber keine Spur eines solchen Anwachsens zu finden. *Es gibt mithin zwei verschiedene Formen der Helladaptation.* Zwischenformen kommen übrigens auch vor [2].

Das sonderbare Verhalten des extrem helladaptierten Auges läßt sich wahrscheinlich folgendermaßen erklären. Die im Vorher-

[1]) Schaternikoff: Einfluß der Adapt. auf die Erscheinung des Flimmers. Zeitschr. für Psychol. Bd. 29, S. 249.

[2]) Lehmann, Folia neurobiologica, Bd. 3.

gehenden entwickelten Sätze über die Dauer der positiven Nachbilder und über die Verschmelzungszeiten können nur so lange gültig sein, als der Geschwindigkeitskoeffizient des Assimilationsvorganges K konstant ist. Nach sehr starker Belichtung der Netzhaut ist eine kleine Erwärmung des Organs nicht ausgeschlossen; mit der Temperatur wächst aber der Geschwindigkeitskoeffizient sehr stark. Ist also einerseits eine sehr große Stoffmenge zersetzt, andererseits der Geschwindigkeitskoeffizient größer als bei normaler Helladaptation, so wird die Dunkeladaptation in den beiden Fällen mit fast derselben Geschwindigkeit eintreten können; die Adaptationskurven zeigen denselben Verlauf und sind zunächst kongruent. Der größere Geschwindigkeitskoeffizient der extremen Helladaptation beeinflußt aber selbstverständlich auch die bei der periodischen Reizung entstehenden Prozesse; diese verlaufen viel schneller als normal, so daß die Verschmelzungszeiten kleiner ausfallen. Beim Übergang zur Dunkeladaptation nimmt der Geschwindigkeitskoeffizient der extremen Helladaptation stetig ab, erreicht aber den normalen Wert erst mit dem Eintreten der Dunkeladaptation; die Verschmelzungszeiten der beiden Formen der Helladaptation konvergieren daher gegen die Werte, die sie während der Dunkeladaptation besitzen.

Auf Grundlage der vorliegenden Untersuchungen können wir also feststellen:

Es gibt keinen konstanten Zustand der Helladaptation; nicht nur die Größe des anfänglichen Schwellenwertes, sondern auch der ganze Zustand der Netzhaut ist von der Intensität des umstimmenden Lichtes abhängig.

Dagegen wird nach völligem Lichtausschluß in 20—40 Min. ein Zustand der Dunkeladaptation erreicht, der sich bei längerer Dauer des Dunkels nur wenig verändert.

Nach bis 10 Sek. dauernden Reizungen des dunkeladaptierten Auges tritt die Dunkeladaptation, je nach der Stärke und Dauer des Reizes, in 6—100 Sek. wieder ein.

Die *Farbenauffassung der helladaptierten Netzhaut* weicht beträchtlich von der der dunkeladaptierten ab, was leicht verständlich ist, weil der Stäbchenapparat bei der Helladaptation aus Funktion gesetzt wird. Monochromatisches Licht geringer Intensität wirkt daher überhaupt nicht auf die helladaptierte Netzhaut ein; das Spektrum kann mit helladaptiertem Auge nicht farblos gesehen werden. Sobald es überhaupt sichtbar wird, sieht man es farbig. In dem lichtschwachen, farbigen Spektrum stimmt die Helligkeitsverteilung auch nicht mit derjenigen überein, die bei derselben Reizstärke vom dunkeladaptierten Auge gesehen wird. Während die relative Helligkeit der Spektralfarben im Dunkelauge durch die gesamte Wirkung der Sensibilatoren sowohl in den Stäbchen

als in den Zapfen bestimmt ist, wirken im helladaptierten Auge nur diejenigen der Zapfen, und das Helligkeitsmaximum ist daher gegen Rot verschoben. Die relativ große Helligkeit des Grün, die bei der Dunkeladaptation immer gefunden wird, läßt sich gar nicht mit dem helladaptierten Auge beobachten.

Da die Stäbchen im Netzhautzentrum fehlen, läßt sich dieser Teil des Organs nicht, oder fast nicht, dunkeladaptieren. Schwache farbige Lichter von geringer räumlicher Ausdehnung, die etwas peripheriewärts leicht gesehen werden, verschwinden bei Fixation, d. h. wenn sie die Stelle des deutlichsten Sehens treffen.

Die Helladaptation beeinflußt übrigens auch die Sättigung farbiger Lichter. Hat man durch längere Betrachtung eines kleinen weißen Feldes ein Nachbild erzeugt, und projiziert man es auf einen farbigen Hintergrund, so sieht man leicht, daß ein Unterschied der Farbensättigung zwischen dem Nachbilde und der Umgebung besteht. Genauer messende Bestimmungen haben ergeben, daß das auf die Stelle des Nachbildes einwirkende Licht gesättigter sein muß, um der Umgebung gleich zu erscheinen. Das Experiment beweist, daß die Sehstoffe der Zapfen nicht nur von monochromatischen Lichtern, sondern auch von genügend starkem weißen Licht zersetzt werden, was der Theorie zufolge zu erwarten stand.

Als Folge der *Umstimmung mittels farbiger Lichter* treten erst den Intensitätsveränderungen des weißen Lichtes analoge Veränderungen ein. Bei dauernder Betrachtung wird jede Farbe allmählich schwächer; in dieser Beziehung haben jedoch, dem Anschein nach, gleich helle Farben nicht dieselbe Wirkung. Hat man z. B. ein Rot hergestellt, daß nach 5 Sek. Betrachtung dieselbe Helligkeit hat wie ein gegebenes Weiß, so sieht es entschieden dunkler aus, wenn die Farben 20 Sek. beobachtet werden. Eben deshalb ist es bei heterochromer Photometrie von der größten Bedeutung, daß eine konstante Beobachtungszeit innegehalten wird.

Außer diesen Intensitätsveränderungen tritt auch Abnahme der Sättigung ein; die Farben werden bei dauernder Betrachtung blasser. Gleichzeitig verändert sich auch der Farbenton. Diese letztere Veränderung ist derjenigen ganz analog, die bei hoher Reizstärke zu beobachten ist: im Spektrum breiten Gelb und Blau sich aus, so daß einerseits Rot und Grün (bis 500 $\mu\mu$) gelblicher, andererseits Grün (von 500 $\mu\mu$)

und Violett bläulicher werden. Nur Gelb (um 560 $\mu\mu$), Blau (um 496 $\mu\mu$) und Blauviolett (um 460 $\mu\mu$) verändern ihren Farbenton nicht[1]. Diese Veränderungen sind in schönster Übereinstimmung mit der hier zugrunde gelegten photochemischen Theorie. Farbenstrahlen, die in relativ kurzer Zeit nicht imstande sind, eine nachweisbare Menge bestimmter Stoffe zu zersetzen, können auf die Dauer sehr wohl eine solche Wirkung haben. Wird also ein Spektrum mittlerer Intensität eine kurze Zeit betrachtet, so läßt sich die Wirkung der Farbenstrahlen auf die Sehstoffe etwa so darstellen wie die Fig. 33, III angibt; bei andauernder Betrachtung dagegen wird die Wirkung ungefähr derjenigen gleich, die sonst von einem weit intensiveren Spektrum in kürzerer Zeit hervorgerufen wird (Fig. 33, IV). Nur die drei Wellenlängen 560, 496 und 460 $\mu\mu$ verändern ihren Farbenton deshalb nicht, weil sie konstant die verschiedenen Sehstoffe in denselben Mengenverhältnissen zersetzen. Wenn schließlich, nach sehr langer Betrachtung, jeder Farbenstrahl auf alle drei Sehstoffe einwirkt, so werden die Farben dadurch weißlich, ungesättigt, genau so wie bei extrem starker Reizung.

Ist das umstimmende Licht nicht monochromatisch, sondern weißlich mit schwacher Färbung, so wird diese Farbe nach einiger Zeit unmerklich, wie man es nach dem Aufsetzen einer farbigen Brille sehr leicht beobachtet. Hierzu trägt indes noch der Umstand bei, daß die durch ein nicht zu stark gefärbtes Glas gesehenen Gegenstände ihre Farben nur wenig verändern. Man sieht also durch die Brille die Objekte fast so wie ohne Brille und vergißt nach einiger Zeit, daß die Farben durch die Brille verändert worden sind, während sie in der Tat keineswegs so gesehen werden, wie sie ohne ein farbiges Glas dem Auge erscheinen würden. Man überzeugt sich leicht hiervon, wenn man nach dem Aufsetzen einer Brille, wo z. B. nur das rechte Glas farbig ist, das linke Auge so lange geschlossen hält, bis das rechte Auge die Färbung der Objekte nicht länger bemerkt. Öffnet man dann das linke Auge, tritt die durch das farbige Glas verursachte Färbung der Objekte sofort hervor. Das rechte Auge war also durch das farbige Glas nicht so weit umgestimmt, daß die Farbe die Netzhaut gar nicht mehr erregte; es besteht

[1] Voeste: Über die Qualitätsänderungen der Spektralfarben. Zeitschrift für Psychol. Bd. 18, S. 257.

tatsächlich noch eine Erregung; so lange aber jede Vergleichung fehlt, ist die Färbung unmerklich.

Eine einfache Konsequenz der oben angeführten Tatsache, daß die Erregung bei dauernder Einwirkung einer Farbe abnimmt, ist die Verwandlung positiver, farbiger Nachbilder in negative, komplementär gefärbte. Betrachtet man 5—10 Sek. ein farbiges Feld auf schwarzem Hintergrunde, so sieht man ein positives Nachbild von derselben Farbe, wenn man den Blick gegen den schwarzen Hintergrund richtet, dagegen ein negatives, komplementär gefärbtes Nachbild, wenn eine weiße Fläche betrachtet wird. Die Farbenstrahlen, für die die Netzhaut an der Stelle des Nachbildes ermüdet ist, können nämlich nur eine relativ geringe Wirkung haben, und das weiße Licht verhält sich daher der ermüdeten Netzhautstelle gegenüber, als ob es dem umstimmenden Reize komplementär gefärbt wäre.

Dreißigstes Kapitel.

Die örtlichen Unterschiede der Netzhaut.

Die im Vorhergehenden dargestellten Tatsachen, die Farbenauffassung betreffend, haben nur für die Netzhautmitte Gültigkeit. Die Farbenauffassung beim indirekten Sehen, d. h. beim Sehen mit der Netzhautperipherie, weicht in verschiedenen Beziehungen hiervon ab. So ist es schon mehrmals erwähnt worden, daß die dunkeladaptierte Netzhaut für ganz schwache Lichtreize um so empfindlicher ist, je weiter peripheriewärts, bis zu einer gewissen Grenze, die Reizung stattfindet. Am geringsten ist die Empfindlichkeit im Netzhautzentrum an einem beinahe zirkulären Felde von etwa 1° Radius. Von hier aus wächst die Empfindlichkeit stark, der Entfernung fast proportional, so daß sie in 4° Entfernung schon 64 Mal größer als im Zentrum ist. Die Empfindlichkeit nimmt zwar noch ferner zu, aber sehr langsam, und erreicht ihr Maximum 10—20° vom Zentrum ab[1]).

Die wesentlichsten örtlichen Verschiedenheiten betreffen jedoch das eigentliche Farbensehen. Ein trichromatisches Farbensystem besitzt nur das Netzhautzentrum; außerhalb einer gewissen, sehr fließenden Grenze ist die Netzhaut rotgrünblind, so daß nur Gelb und Blau von verschiedener

---

[1]) Nagels Handbuch der Physiologie, 3. Bd. S. 171.

Intensität und Sättigung empfunden werden. Die äußerste Netzhautzone schließlich ist total farbenblind; hier werden nur Hell und Dunkel empfunden. Die Grenzen dieser verschiedenen Zonen sind fließend, indem ihre Lage sowohl von der Größe des betrachteten farbigen Objektes als von der Intensität der Reize abhängig ist. Je stärker und ausgedehnter die Reizung ist, um so weiter verschieben sich die Grenzen gegen die Peripherie hin. Ein rotes Feld z. B., dessen Farbe in 20° Entfernung von der Netzhautmitte eben merklich ist, kann noch in etwa der doppelten Entfernung als rot aufgefaßt werden, wenn es 16 Mal größer gemacht wird. Die Farbenblindheit ist also innerhalb dieser Zone nur relativ, von der Reizung abhängig. Es findet sich jedoch schließlich eine Grenze, wo keine Vergrößerung des Feldes oder der Intensität des Reizes eine normale Farbenauffassung hervorzurufen vermag. Dasselbe gilt von der Grenze, wo jede Farbenauffassung endlich aufhört: die äußerste Netzhautperipherie ist immer total farbenblind.

Trotz der Veränderungen des Farbentons beim indirekten Sehen stimmt die Farbenauffassung dennoch in gewissen Beziehungen mit der des zentralen Sehens überein. Farbengleichungen, die für die Netzhautmitte Gültigkeit haben, gelten auch für das Sehen mit einer peripheren Netzhautstelle. Ebenfalls verändern sich die relativen Helligkeiten der Farben nicht, wenn sie indirekt gesehen werden; die Helligkeit einer Farbe ist also davon unabhängig, ob sie in der Netzhautmitte farbig oder in der Peripherie farblos erscheint.

Mit den erwähnten Tatsachen sind die wesentlichsten Eigentümlichkeiten der Netzhautperipherie angegeben, und sie sind nach unserer photochemischen Theorie leicht erklärlich. Da die Helligkeiten der Farben von den örtlichen Verschiedenheiten der Netzhaut unabhängig sind, so müssen die Sehsubstanzen der Zapfen überall auf dieselbe Weise sensibilisiert sein. Da aber die Qualität der erregten Farbenempfindungen mit der Entfernung von der Netzhautmitte variiert, so können die Sehstoffe nicht überall dieselbe Zusammensetzung haben. Die Zapfen der äußersten Peripherie, wo jeder Reiz nur die Empfindung Weiß erregt, enthalten nur die ungeteilte Sehsubstanz, die auch in den Stäbchen vorkommt; diese Weißsubstanz der Zapfen ist aber, wie gesagt, ganz anders sensibilisiert als die der Stäbchen. In der mittleren Netzhautzone kommen hauptsächlich die ersten Teilungsprodukte der Seh-

substanz, nämlich die Gelb- und Blausubstanz, vor, und deshalb erregt jede Reizung durch farbiges Licht hier nur die Empfindungen Gelb und Blau; diese Zone ist rotgrünblind. Die Sensibilisatoren müssen wir uns hier so verteilt denken, daß die Blausubstanz für Blau, die Gelbsubstanz dagegen sowohl für Rot als für Grün sensibilisiert ist; unter dieser Voraussetzung werden auch die Helligkeiten der Farben gleich denen der Netzhautmitte. In der Netzhautmitte schließlich finden sich die früher erwähnten drei Sehsubstanzen. Nun sind aber die Grenzen dieser Zonen fließend. Es ist also wahrscheinlich, daß die ungeteilte Weißsubstanz, die in den Zapfen der äußersten Peripherie ausschließlich vorkommt, gegen die Mitte hin immer mehr abnimmt, während die Menge der Gelb- und der Blausubstanz gleichzeitig wächst. In der mittleren Zone sind diese beiden Substanzen im Übergewicht, nehmen aber ihrerseits gegen das Zentrum hin ab, um einer wachsenden Menge der drei Substanzen Platz zu machen.

Durch eine solche Anordnung der Sehsubstanzen wird es verständlich, daß ein relativ schwacher oder wenig ausgedehnter Reiz, z. B. rotes Licht, in der mittleren Zone hauptsächlich die ungeteilte Gelbsubstanz zersetzt und daher die Empfindung Gelb erzeugt, während er, wenn seine Intensität oder Ausdehnung wächst, außerdem so viel Rotsubstanz zersetzt, daß eine Rotempfindung merklich wird. Ebenfalls wird es verständlich, daß gegen die äußerste Peripherie hin schwache Reize nur die Weißempfindung erregen, während stärkere Reize noch eine merkliche Gelb- oder Blauempfindung hervorrufen. Sind einmal die verschiedenen Teilungsstufen der Sehsubstanzen als möglich zugegeben, dann resultieren die örtlichen Unterschiede der Farbenauffassung einfach aus ihrer verschiedenen Verteilung in den Zapfen.

Es sei nur noch bemerkt, daß die *räumliche Ausdehnung der Farbenempfindungen* durchweg mit der Größe des gereizten Netzhautareals wächst und unabhängig von der Art und der Stärke des Reizes, sowie von der Lage der gereizten Netzhautstelle ist. Sowohl durch die dioptrische als durch die retinale Irradiation (S. 187 u. 190) erleidet die Gültigkeit dieses Satzes gewisse Einschränkungen, auf die wir später näher eingehen werden (Kap. 79); im großen ganzen kann der Satz aber als zweifellos festgestellt werden.

Einunddreißigstes Kapitel.

Die anormalen Farbensysteme.

Wir sahen schon oben (S. 211), daß selbst völlig normale Augen recht erhebliche individuelle Unterschiede in betreff der Farbenauffassung aufweisen können, und wir führten diese Unterschiede auf eine verschiedene Sensibilisation der drei Sehsubstanzen zurück. Werden solche Unterschiede sehr beträchtlich, können die betreffenden Augen nicht normal genannt werden. Man hat bis jetzt zwei Gruppen derartiger Anomalien nachgewiesen, die beide zwar trichromatische Farbensysteme sind, sich aber dadurch von den normalen unterscheiden, daß im einen Falle die grünen, im anderen Falle die roten Strahlen eine viel geringere Erregung als normal bewirken. Man bezeichnet daher diese Farbensysteme als *die anormal trichromatischen* und nennt den ersteren Fall die *Grünanomalie*, den letzteren die *Rotanomalie*. Am einfachsten sind die Anomalien nachzuweisen, wenn die zu untersuchende Person eine Mischung von Rot (670$\mu\mu$) und Grün (550$\mu\mu$) herstellt, die dem spektralen Gelb (590$\mu\mu$) gleich erscheint. Der Grünanomale braucht hierzu etwa 3 Mal mehr Grün als der normale, während der Rotanomale etwa 4 Mal mehr Rot nötig hat[1]). Ähnliche Abweichungen von der Norm kommen natürlich auch bei andern Rot-Grünmischungen vor, und aus den Untersuchungen ergeben sich die folgenden Resultate. Bei der Grünanomalie ist nicht nur die Wirkung der grünen Strahlen herabgesetzt, sondern das Maximum dieser Wirkung liegt etwas gegen Rot verschoben. Bei der Rotanomalie dagegen ist die Wirkung der roten Strahlen herabgesetzt, und das Maximum derselben wahrscheinlich gegen Grün verschoben[2]). Infolge dieser Abweichungen sind auch die relativen Helligkeiten der Spektralfarben nicht dieselben wie im normalen Farbensystem; die Helligkeitsverhältnisse des rotanomalen stimmen mit denen des protanopen Farbensystems überein[3]), wovon unten (S. 260) die Rede sein wird.

Bemerkenswert ist ferner, daß man bisher keinen Über-

---

[1]) Nagels Handbuch der Physiologie, 3. Bd. S. 126.

[2]) Schenck: Theorie der Farbenempfindung. Pflügers Archiv, Bd. 118, S. 174.

[3]) Levy: Über die Helligkeitsverteil. im Spektrum. Zeitschr. für Psychol. Bd. 34, S. 74. Vgl. Schenck, a. a. O. S. 174.

gang vom normalen zu den anormalen Farbensystemen gefunden hat. Allerdings sind vorläufig nur ein paar hundert Individuen hierauf untersucht worden; es würde aber doch merkwürdig sein, wenn es überhaupt Übergangsstufen gäbe, daß sich keine Spur derselben hätte nachweisen lassen. Aller Wahrscheinlichkeit nach ist der Unterschied zwischen dem normalen und den anormalen Farbensystemen nicht nur ein quantitativer, sondern auch ein qualitativer.

Die Erklärung dieser Verhältnisse nach der hier zugrunde gelegten Theorie ist sehr einfach. Bei der Grünanomalie ist die Grünsubstanz, bei der Rotanomalie die Rotsubstanz weniger sensibilisiert als normal; dadurch erklären sich die verschiedenen Mengenverhältnisse der gelb erscheinenden Mischungen und die veränderte Helligkeitsverteilung im Spektrum. Außerdem müssen die Sensibilisatoren eine von der normalen abweichende Zusammensetzung haben, was sich aus der verschiedenen Lage der Maximumspunkte folgern läßt. Hierdurch wird es dann ferner verständlich, warum keine Übergangsstufen zwischen dem normalen und den anormalen Farbensystemen vorkommen. Durch eine chemische Veränderung der Sensibilisatoren verändern sich die Eigenschaften derselben sprungweise. Um große chemische Unterschiede handelt es sich gewiß nicht; es ist aber durchaus nicht wahrscheinlich, daß Zwischenformen zwischen den Sensibilisatoren des normalen und der anormalen Systeme vorkommen, und es steht daher zu erwarten, daß eine Kluft zwischen den drei erwähnten Systemen immer bestehen wird.

Meine Auffassung weicht hier von derjenigen Schencks ab, indem er annimmt, daß der Reizempfänger (Sensibilisator) für langwelliges Licht in der Rotanomalie fehlt. Da das Farbensystem trichromatisch ist, müssen die drei Sehsubstanzen vorhanden sein, so viel steht fest. Fehlt aber der Sensibilisator für Rot, so müssen sämtliche Strahlenarten die Rotsubstanz mehr oder weniger stark zersetzen können; dann würde aber jede Strahlenart neben ihrer besonderen Wirkung auf die sensibilisierten Substanzen auch eine Roterregung herbeiführen. Daß dies der Fall ist, kann ich durch die vorliegenden Untersuchungen nicht bestätigt finden. Eine herabgesetzte und von der normalen qualitativ verschiedene Sensibilisation scheint mir den Tatsachen am besten zu entsprechen. Schenck deutet übrigens auch selbst eine solche Annahme an, a. a. O. S. 175. Analoges gilt von dem unten zu besprechenden protanopen Farbensysteme.

Noch größere Abweichungen von der Norm führen zu der eigentlichen, *partiellen Farbenblindheit*, die entweder *Rotgrün-*

blindheit oder *Blaugelbblindheit* ist. Die erstere Form zerfällt wieder in die *Deuteranopie* und die *Protanopie.* Alle diese Anomalien haben das gemeinsam, daß die Farbensysteme *dichromatisch* sind, d. h. sämtliche Spektralfarben können durch Mischung von nur zwei Farben hergestellt werden. Wenn schließlich jede Farbenauffassung fehlt, dann liegt *totale Farbenblindheit* vor. Die verschiedenen Formen derselben stimmen darin überein, daß die Farbensysteme *monochromatisch* sind, d. h. sämtliche Strahlenarten werden nur als e i n e Farbe verschiedener Intensität aufgefaßt. Die monochromatischen Farbensysteme können sich also nur dadurch voneinander unterscheiden, daß die relative Helligkeit der Spektralfarben verschieden ist. Betrachten wir kurz jede dieser verschiedenen Anomalien.

Stellt man sich vor, daß die in der mittleren Zone der normalen Netzhaut bestehende Rotgrünblindheit sich so ausbreitet, daß sie auch die ganze Netzhautmitte umfaßt und den normalen Farbensinn vollständig verdrängt, so liegt eine typische *Deuteranopie* vor. Die roten und die grünen Farbentöne so wie ihre Abstufungen zu Gelb und Blau werden nicht als solche aufgefaßt, und keine Vergrößerung weder der Reizstärke noch der Ausdehnung des Reizes ist imstande, diese Empfindungen zu erregen. Der Deuteranop hat von den langwelligen Strahlen nur die Empfindung Gelb von verschiedener Sättigung; die Strecke 500—490 $\mu\mu$ erscheint farblos, und die kurzwelligen Strahlen geben nur die Empfindung Blau von verschiedener Sättigung. Das Gelb von etwa 600 $\mu\mu$ Wellenlänge und das Blau um 470 $\mu\mu$ erscheinen am gesättigsten; durch Mischung dieser beiden Farben in verschiedenen Verhältnissen können daher sämtliche übrige Spektralfarben hergestellt werden. Es zeigt sich ferner, daß jede von einem normalen Trichromaten eingestellte Farbengleichung auch für die Deuteranopen Gültigkeit hat; die Abweichungen sind jedenfalls ganz unwesentlich. Selbstverständlich gilt nicht der umgekehrte Satz; die von einem Deuteranopen eingestellten Farbengleichungen haben nur ausnahmsweise für die Trichromaten Gültigkeit. Der Deuteranop kann z. B. aus Gelb und Blau eine Mischung herstellen, die Grün 500 $\mu\mu$ gleich erscheint, weil sowohl die Mischung als die homogene Farbe ihm farblos sind. Einem Trichromaten würde die Mischfarbe je den Umständen nach rötlich oder bläulich Weiß erscheinen und durchaus keine Ähnlichkeit mit dem Blaugrün 500 $\mu\mu$ haben. Schließlich sei noch erwähnt, daß die Deuteranopie mit der normalen Trichro-

masie auch darin übereinstimmt, daß die relative Helligkeit der Spektralfarben dieselbe ist.

Die Deuteranopie läßt sich auf die nämliche Weise wie die lokale Rotgrünblindheit der normalen Netzhaut erklären. Wenn die Teilung der Gelbsubstanz in sämtlichen Zapfen ausbleibt, während die Sensibilisatoren für Rot und Grün an der Gelbsubstanz haften, so liegt Deuteranopie vor. Daß es sich bei dieser Anomalie nicht um anatomische, sondern nur um stofflich-chemische Störungen handelt, geht daraus hervor, daß die angeborene Deuteranopie durch eine Mytilotoxinvergiftung für kurze Zeit, etwa 24 Stunden, aufgehoben werden kann, wie ich es selbst einmal beobachtet habe. Der betreffende, sehr intelligente Herr, Fabriksdirektor, dessen Farbensinn ich mehrmals untersucht hatte, war typisch deuteranop. Nach einem Genuß von Muscheln war er sehr krank geworden, und kurz nach seiner Genesung entdeckte er, abends spät, daß „er eine Farbenempfindung hatte, die er nie früher gekannt hatte". Unmittelbar nach dieser Entdeckung hatte ich Gelegenheit, den Fall zu untersuchen, und ich konnte mit Sicherheit konstatieren, daß er die „neue" Empfindung (rot) mit grün nicht verwechselte. Grün trat nicht so entschieden hervor, da die Untersuchung bei Lampenlicht stattfand, wo grüne Pigmentfarben selbst einem normalen Auge schwer erkennbar sein können. Schon am folgenden Tage war die „neue" Empfindung leider so undeutlich geworden, daß von einer eingehenden Untersuchung Abstand genommen werden mußte.

Die *Protanopie* ist ebenfalls eine Form der Rotgrünblindheit; sie unterscheidet sich aber von der Deuteranopie dadurch, daß das Sättigungsmaximum des Gelb bei 570 $\mu\mu$ liegt, und daß die Helligkeit der langwelligen Strahlen mit wachsender Wellenlänge sehr schnell abnimmt; das Spektrum erscheint daher am roten Ende verkürzt. Die neutrale, farblos erscheinende Strecke ist im Vergleich mit der des Deuteranopen ein wenig gegen Blau verschoben (bis etwa 490 $\mu\mu$), während das Sättigungsmaximum des Blau unverändert ist (um 470 $\mu\mu$). Sämtliche Spektralfarben dieses Systems können also auch durch Mischung von Gelb und Blau hergestellt werden; das Farbensystem ist dichromatisch. Die Farbengleichungen des normalen Trichromaten haben auch für den Protanopen Gültigkeit; die Farbengleichungen des letzteren sind aber nur ausnahmsweise für den normalen Trichromaten und den Deutera-

nopen gültig. Da die Gleichungen des normalen Trichromaten von beiden Dichromaten anerkannt werden, so müssen auch solche Gleichungen, über welche die beiden Dichromaten einig sind, für den Trichromaten Gültigkeit haben. Dies trifft in der Tat zu [1]).

Die relative Helligkeit der Spektralfarben im protanopen Farbensystem geht besonders deutlich aus den von König mit dem Protanopen Ritter angestellten Messungen hervor. In Tab. 11 sind die Ritterschen A-Werte angeführt, die die Sensibilisation der Netzhaut angeben, und in Fig. 35, Kurve R,

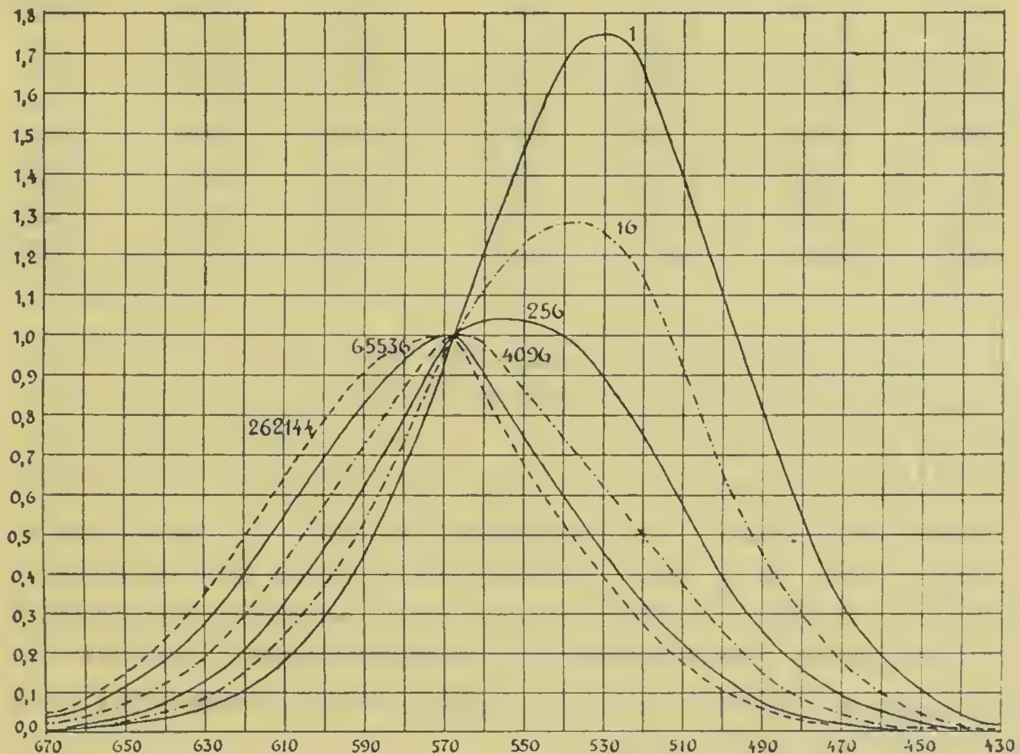


Fig. 44.

sind die Werte graphisch dargestellt. Die Figur zeigt, wie gering die Sensibilität für langwellige Strahlen ist im Vergleich mit der der normalen Augen. Noch deutlicher tritt dies hervor, wenn wir mittels Gleich. 31 die, bestimmten Werten des R_w entsprechenden Werte der Helligkeit H berechnen. In Tab. 25, die der Tab. 12 analog ist, sind diese berechneten Werte angeführt, und Fig. 44 gibt eine graphische Darstellung dieser relativen Helligkeiten bei den verschiedenen Reizstärken. Vergleicht man die Fig. 44 mit der Fig. 36, tritt der große Unterschied hervor, der in dieser Beziehung zwischen

[1]) Nagels Handbuch der Physiologie, 3. Bd., S. 160.

dem protanopen und dem normal-trichromatischen Farbensystem besteht: selbst bei den größten Reizstärken rückt das Helligkeitsmaximum des Protanopen nicht über 570 $\mu\mu$ hinaus.

Tabelle 25.

$R_w = \lambda$	1	16	256	4096	65 536	262 144
670	0,0058	0,0095	0,015	0,025	0,041	0,052
650	0,018	0,029	0,046	0,074	0,119	0,151
625	0,077	0,111	0,161	0,233	0,337	0,405
605	0,231	0,305	0,402	0,531	0,700	0,804
590	0,446	0,522	0,612	0,716	0,839	0,908
575	0,803	0,842	0,882	0,925	0,970	0,993
555	1,345	1,180	1,036	0,910	0,799	0,743
535	1,736	1,283	0,949	0,701	0,518	0,445
520	1,660	1,142	0,785	0,540	0,372	0,308
505	1,250	0,767	0,471	0,289	0,177	0,139
490	0,793	0,450	0,256	0,145	0,082	0,062
470	0,331	0,176	0,094	0,050	0,027	0,022
450	0,106	0,053	0,026	0,013	0,0066	0,0047
430	0,021	0,0104	0,0051	0,0026	0,0013	0,0009

Analoge Helligkeitsverhältnisse finden sich, wie oben erwähnt, beim rotanomalen trichromatischen Farbensystem; von diesem unterscheidet sich aber das protanope System dadurch, daß es dichromatisch ist. Die Eigentümlichkeiten der Protanopie können also durch die Annahmen erklärt werden, daß die Gelbsubstanz sich nicht differentiiert habe und sowohl für Grün als für Rot sensibilisiert sei. Die letztere Sensibilisation ist indes stark herabgesetzt und wahrscheinlich qualitativ mit dem Rotsensibilisator des rotanomalen trichromatischen Farbensystems übereinstimmend.

Die angeborene *Blaugelbblindheit* ist sehr selten; häufiger tritt diese Anomalie als erworbene Störung des Farbensinnes auf. So viel man weiß, ist der Charakter der Anomalie jedoch von der Entstehungsweise unabhängig. Der Blaugelbblinde hat außer Weiß auch nur zwei Farben, nämlich bläulich Rot und bläulich Grün; Gelb und Blau des Spektrums erscheinen weiß. Die Farbengleichungen des normalen Trichromaten haben auch für den Blaugelbblinden Gültigkeit, und die relativen Helligkeiten der Spektralfarben sind ebenfalls für die beiden Systeme übereinstimmend. In diesem Falle liegt es wohl am nächsten, anzunehmen, daß nur die Rotsubstanz und die Grünsubstanz sich differentiiert haben, während der Sensibilisator für Blau den beiden Sehsubstanzen sich gleichmäßig anhafte. Dann können sowohl die kurzwelligen als die gelben Strahlen die

beiden Sehsubstanzen zersetzen und mithin Weiß erzeugen; nur die langwelligen und die Strahlen mittlerer Wellenlänge erregen besondere Farbenempfindungen.

Die *totale Farbenblindheit* ist dadurch charakterisiert, daß nur die Empfindung Weiß von verschiedener Intensität vorkommt. Ein solches Farbensystem ist monochromatisch, indem jede beliebige Spektralfarbe nur durch Variation der Reizstärke jeder anderen gleich gemacht werden kann. Die verschiedenen möglichen Formen dieser Anomalie unterscheiden sich nur durch die Helligkeitsverteilung im Spektrum; im vorhergehenden sind schon zwei solche verschiedenen Helligkeitsverhältnisse dargestellt:

1. Der dunkeladaptierten normalen Netzhaut erscheinen alle Farben geringer Reizstärke weiß; die relative Helligkeit der Farben ist die durch die Stäbchenfunktion bestimmte. Denkt man sich, daß die Zapfen funktionsunfähig werden, so daß die Spektralfarben überhaupt keine anderen Farbenempfindungen als Weiß erregen können, dann liegt eine Form totaler Farbenblindheit vor. Es besteht dann auch zentrales Skotom, d. h. die Netzhautmitte, die keine Stäbchen enthält, ist völlig unempfindlich. Die Helligkeitsverteilung wird die des Dämmerungsspektrums sein. Diese Form der Farbenblindheit ist tatsächlich beobachtet worden.

2. Totale Farbenblindheit besteht normal an der äußersten Peripherie der Netzhaut, wo wir deshalb annehmen, daß nur die undifferentiierte Sehsubstanz vorkommt. Die relative Helligkeit der Spektralfarben ist hier dieselbe wie in der Netzhautmitte des normalen, trichromatischen Auges. Stellt man sich vor, daß die Sehsubstanz aller Zapfen undifferentiiert bleibt, so erstreckt sich also die totale Farbenblindheit der Peripherie über die ganze Netzhaut. Diese Form ist ebenfalls beobachtet worden.

3. Außer den erwähnten ist noch eine Form möglich und in einzelnen Fällen vorgekommen. Bei den Protanopen und den rotanomalen Trichromaten besteht an der Netzhautperipherie dieselbe Helligkeitsverteilung der Spektralfarben wie in der Netzhautmitte. Das Helligkeitsmaximum liegt also selbst bei den höchsten Intensitäten im Gelb (Fig. 44), und das Spektrum erscheint verkürzt. Bleibt die Sehsubstanz sämtlicher Zapfen undifferentiiert und so sensibilisiert, wie die Sehsubstanzen der Protanopen sonst sensibilisiert sind, so ist also die ganze Netzhaut total farbenblind mit einer

von den schon erwähnten Formen abweichenden Helligkeitsverteilung.

Die von Schenck aufgestellte, hier durchgeführte Theorie ist also tatsächlich imstande, nicht nur die Einzelheiten des normalen Farbensinns, sondern auch alle bisher bekannten Formen von Anomalien einfach zu erklären. Sie hat übrigens noch den Vorzug, daß sie die theoretische Möglichkeit zahlreicher unbekannter Formen feststellen kann, die man sich durch Variation der Sehsubstanzen und der Sensibilisatoren entstanden denken kann.

II. Die Gehörsempfindungen.

Zweiunddreißigstes Kapitel.

Das Ohr.

Im Ohre finden sich zwei verschiedene Sinnesorgane, von welchen nur das eine die Gehörsempfindungen vermittelt. Anatomisch sind sie aber so eng miteinander verbunden, daß es gekünstelt erscheinen würde, die beiden Organe nicht gleichzeitig zu beschreiben. Von den Funktionen des Gehörsorgans wird dann gleich im folgenden die Rede sein, während die des „Lageorgans" erst später dargestellt werden können.

Das Ohr besteht aus drei Teilen, dem äußeren, mittleren und inneren Ohr. Das äußere Ohr empfängt die Schallwellen, die unter normalen Umständen die Gehörsreize übermitteln. Im Mittelohre wird die Bewegung der Schallwellen auf ein System von Knöchelchen übertragen, das in mechanische, pendelnde Bewegung gesetzt wird. Diese Bewegung pflanzt sich in die Flüssigkeit des inneren Ohres fort, wo sie die dort ausgebreiteten, peripheren Nervenfasern erregen. Wir gehen jetzt auf den sehr verwickelten Bau und die Funktionen dieser Organe etwas näher ein.

Das *äußere Ohr* wird von der *Ohrmuschel* gebildet, einem flachen Trichter, dessen Rohr der *äußere Gehörgang* (meatus acusticus externus, *M. a. e.*, Fig. 45) ist. Die Öffnung des Gehörganges ist teilweise von dem am vorderen Rande hervorspringenden *Tragus* (*T*) gedeckt. Eine wesentliche Bedeutung für das Hören scheint die Ohrmuschel beim Menschen nicht zu haben; sie kann jedenfalls nur im geringen Grade die Schallwellen in den Gehörgang reflektieren. Dagegen kann

sie wahrscheinlich die Schallbewegung direkt fortpflanzen; das Gehör wird jedenfalls merklich schlechter, wenn die Ohrmuschel mit einem weichen Stoff (Wachs, Brotteig) bedeckt wird.

Das *Mittelohr* besteht aus einem größeren, mit Luft gefüllten Raum, der *Paukenhöhle* (cavum tympani), die vom äußeren Gehörgang durch das *Trommelfell* (membrana tympani, *M. t.*) abgesperrt ist, dagegen mittels der *Ohrtrompete* (tuba Eustachii, *T. E.*) mit dem Schlunde kommuniziert. Die Tube ist jedoch an einigen Strecken so eng, daß die Wände dicht aneinander liegen; nur beim Schlucken öffnet sich der Weg, so

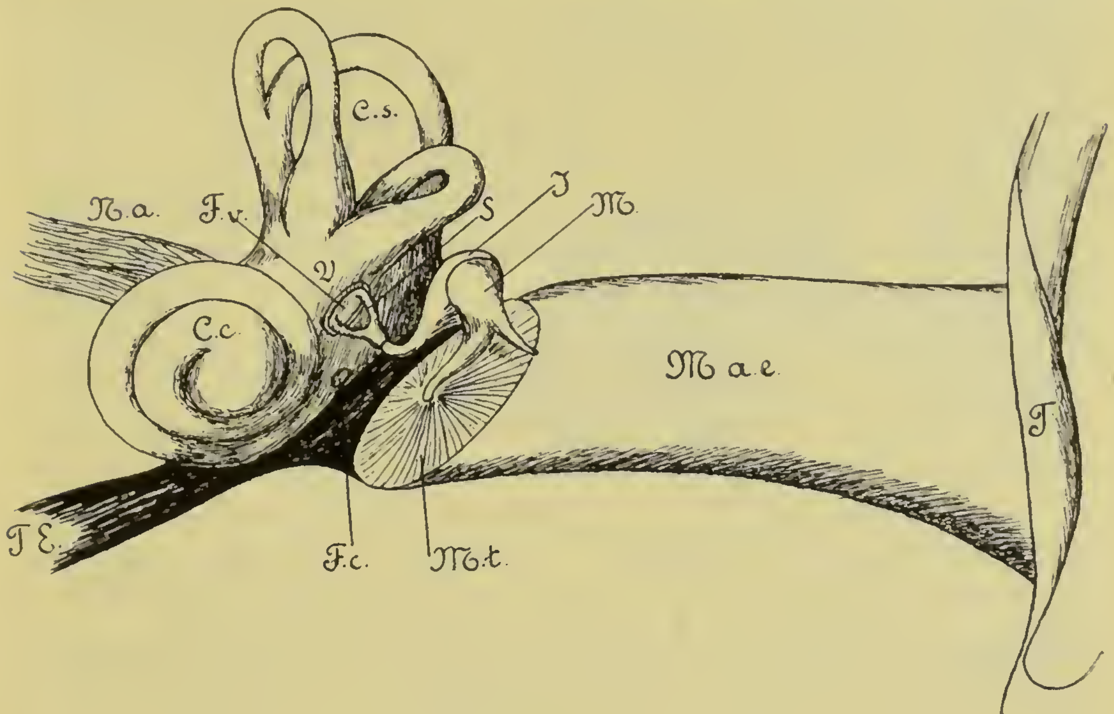


Fig. 45.

daß Gleichgewicht zwischen der inneren und der äußeren Luft zustande kommen kann.

Das Trommelfell ist eine dünne Membran, aus zahlreichen, teils radiär, teils zirkulär laufenden elastischen Fasern gebaut. Durch den Zug der zirkulären Fasern nimmt die Membran die Form eines flachen Trichters an, dessen Wände gegen den äußeren Gehörgang schwach konvex sind, und dessen Spitze, der Nabel, in der Paukenhöhle liegt. Die in den äußeren Gehörgang eindringenden Schallwellen treffen das Trommelfell, das auf die Weise in Schwingungen versetzt wird, daß die radiären, gekrümmten Fasern sich strecken und wieder zurückschnellen. Dadurch werden die Exkursionen des Trommelfells sehr klein, die Energie der Bewegung aber um so größer.

Wie eine Telephonmembran kann das Trommelfell von Schallwellen sehr verschiedener Wellenlänge in Bewegung gesetzt werden; seine Eigenschwingungen spielen dabei fast keine Rolle.

Durch die Schwingungen des Trommelfells werden die drei Gehörknöchelchen, der *Hammer* (mallens, *M.*), der *Amboß* (incus, *I*) und der *Steigbügel* (stapes, *S*) in Bewegung gesetzt. Der Stiel des Hammers ist mit dem Trommelfell verwachsen, der Kopf desselben greift in eine Aushöhlung des Amboßes ein. Mit dem langen Fortsatz des letzteren ist der Steigbügel verbunden, dessen Schenkel gegen das *ovale Fenster* (fenestra ovalis s. vestibuli, *F. v.*) drücken. Die drei Knöchelchen überbrücken somit die Paukenhöhle und sind durch verschiedene Bänder an den Wänden derselben so befestigt, daß sie eine Hebelvorrichtung bilden, die die Bewegungen des Trommelfells auf das ovale Fenster überträgt. Bewegt sich nun das Trommelfell nach innen, so greift der Hammerkopf in den Amboß ein und drückt den Steigbügel gegen das Vorhofsfenster; wenn das Trommelfell zurückschnellt, braucht der Amboß nicht zu folgen, indem der Hammerkopf auf die Gelenkfläche gleitet, ohne den Amboß mitzunehmen. Die Rückwärtsbewegung des Steigbügels und des Amboßes kommt daher nur durch den Gegendruck der Flüssigkeit im inneren Ohre zustande.

Am Hammerstiel ist ein Muskel, der Trommelfellspanner (tensor tympani), befestigt, durch dessen Kontraktion das Trommelfell mehr oder weniger stark gespannt werden kann. Einige Menschen sind imstande, solche Spannungsänderungen willkürlich auszuführen; meistens finden sie aber reflektorisch statt. Die Bedeutung dieser Veränderungen ist durchaus unklar; es lag nahe, anzunehmen, daß es sich hierbei um eine Akkomodationsvorrichtung handelte, durch welche das Trommelfell in die zur Auffassung des Schalles günstigste Spannung gebracht würde. Trotz zahlreichen, darauf gerichteten Versuchen ist es aber bis jetzt nicht gelungen, darzutun, daß eine eigentliche Akkomodation dadurch stattfindet[1]).

Das innere Ohr, das *Labyrinth*, ist ein mit einer wasserartigen Flüssigkeit, Perilymphe, gefüllter Hohlraum, der von einer sehr harten, knöchernen Umhüllung umgeben ist. Die Form dieser Umhüllung ist in den Hauptzügen die des Hohlraumes, so daß die Anordnung der verschiedenen Teile schon von außen gesehen werden kann (Fig. 45). Das Labyrinth

[1]) Schaefer: Der Gehörssinn. Nagels Handbuch. Bd. 3, S. 558.

zerfällt in drei Abteilungen: den *Vorhof* (vestibulum, *V*), die *Bogengänge* (canalis semicirculares, *C. s.*) und die *Schnecke* (canalis spiralis cochleae, *C. c.*). Nur an zwei Stellen ist die knöcherne Wand dieser Kavitäten durchbrochen und mittels elastischer Membranen verschlossen; die eine Öffnung ist das schon erwähnte, von der Steigbügelplatte gedeckte ovale Fenster, die andere das *runde Fenster* (fenestra rotunda s. cochleae, *F. c.*), das unterhalb des ersteren den Schneckenkanal mit der Paukenhöhle in Verbindung setzt. Die Bogengänge bilden drei vom Vorhof ausgehende und zu demselben wieder zurückkehrende Kanäle, die in drei aufeinander fast senkrechten Plänen liegen. Der Schneckenkanal, ebenfalls vom Vorhof ausgehend, ist dritthalb Mal um die Spindel schneckenhausförmig gewunden.

In dem knöchernen liegt das *häutige Labyrinth*, das mit dem Gehörnerven (nervus acusticus, *N. a.*) in Verbindung steht und die Gebilde enthält, die zur Umwandlung der mechanischen Bewegung der Perilymphe in Nervenerregung dienen. Das häutige Labyrinth ist ein vollständig geschlossenes System, aus zwei Säckchen und mehreren feinen Kanälen bestehend, das mit einer wasserartigen Flüssigkeit, Endolymphe, gefüllt ist und dieselbe, nur etwas feiner gegliederte Form wie das knöcherne Labyrinth hat. Im Vorhof liegen die beiden *Säckchen*, *Utriculus* (*U*, Fig. 46, die das häutige Labyrinth schematisch darstellt) und *Sacculus*, *S.*, die durch einen Kanal (aquaeductus vestibuli, *A*) verbunden sind. Vom Utriculus gehen die *häutigen Bogengänge* (ductus semicirculares, *D. s.*) aus, die die knöchernen Bogengänge nur teilweise ausfüllen. Vom Sacculus geht die *häutige Schnecke* (ductus cochlearis, *D. c.*) aus, die in der knöchernen Schnecke eine doppelte Scheidewand bildet. Der Nervus acusticus, der eigentlich aus zwei verschiedenen Nerven, dem *Schneckennerven* (nervus cochlearis, *n. c.*) und dem *Vorhofnerven* (n. vestibularis, *n. v.*) besteht, sendet seine Verästelungen zu den verschiedenen Teilen des häutigen Labyrinths.

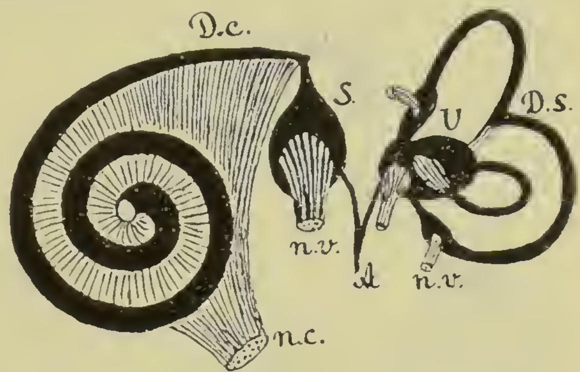


Fig. 46. Schema des häutigen Labyrinths (nach Hensen).

Die Lage der häutigen in der knöchernen Schnecke geht

aus der Fig. 47 hervor, die einen Schnitt durch die Längsachse der *Spindel* (modiolus, *M*) darstellt. Die schneckenhausförmige Kavität ist durch eine *Knochenlamelle* (lamina spiralis, *l. s.*) fast halbiert, und zwischen dieser Lamelle und der Außenwand ist die häutige Schnecke so befestigt, daß sie einen im Querschnitt dreieckigen Raum, den *Schneckenkanal* (ductus cochlearis, *d. c.*) umschließt. Die obere Wand des dreieckigen Kanals wird die *Reißner'sche Membran* (*R. m.*), die untere die *Basilarmembran* (lamina basilaris, *l. b.*) genannt. Auf diese Weise werden die Schneckenwindungen in ihrer ganzen Länge in eine obere Abteilung, die *Vorhofstreppe* (scala vestibuli, *s. v.*), und eine untere, die *Paukentreppe* (scala tympani, *s. t.*), geteilt. Die häutige Schnecke endet oben in der Schneckenspitze blind, so daß die beiden Treppen hier durch das *Schneckenloch* (Helicotrema, *H*) miteinander in Verbindung stehen. Nur die Vorhofstreppe ist mit dem Vorhof verbunden; die Paukentreppe endet unten blind, hier findet sich aber das von einer elastischen Membran gedeckte runde Fenster.

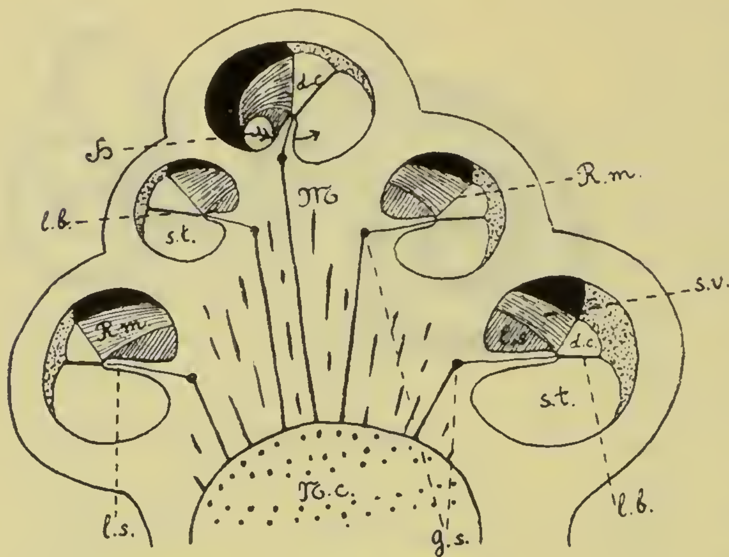


Fig. 47.

Denkt man sich die Perilymphe des Vorhofs durch einen Druck auf das ovale Fenster in Bewegung gesetzt, so kann sie nur auf die Weise ausweichen, daß sie sich die Vorhofstreppe entlang durch das Schneckenloch und darauf die Paukentreppe entlang verschiebt. Das runde Fenster wird dann nach außen gedrückt, geht aber wieder zurück, wenn der Druck auf das ovale Fenster aufhört; die beiden Fenster schwingen somit immer in entgegengesetzten Richtungen. Dasselbe muß auch dann stattfinden, wenn die Geschwindigkeit der Bewegung so groß wird, daß die Flüssigkeitssäule sich nicht in ihrer ganzen Länge verschieben kann, sondern die Reißner'sche und die Basilarmembran in die Paukentreppe hinein biegt. Der Druck wird auch in diesem Falle schließlich das runde Fenster in die Paukenhöhle hinaus

wölben. Aller Wahrscheinlichkeit nach ist eine solche Biegung der elastischen Scheidewände zwischen den beiden Schneckentreppen die normale Folge der Bewegung, die eine Schallwelle dem Trommelfell mitteilt. Im Schneckenkanal finden sich nämlich die peripheren Fasern des Gehörsnerven, die eben durch die erwähnte Biegung der Basilarmembran erregt werden können.

In der Schneckenspindel liegen die peripheren Ganglien (ganglion spirale, *G.s.*, Fig. 47) des Gehörsorgans, bipolare Nervenzellen, die ihre peripheren Fortsätze durch die Knochenlamelle in den Schneckenkanal senden, während die zentralen

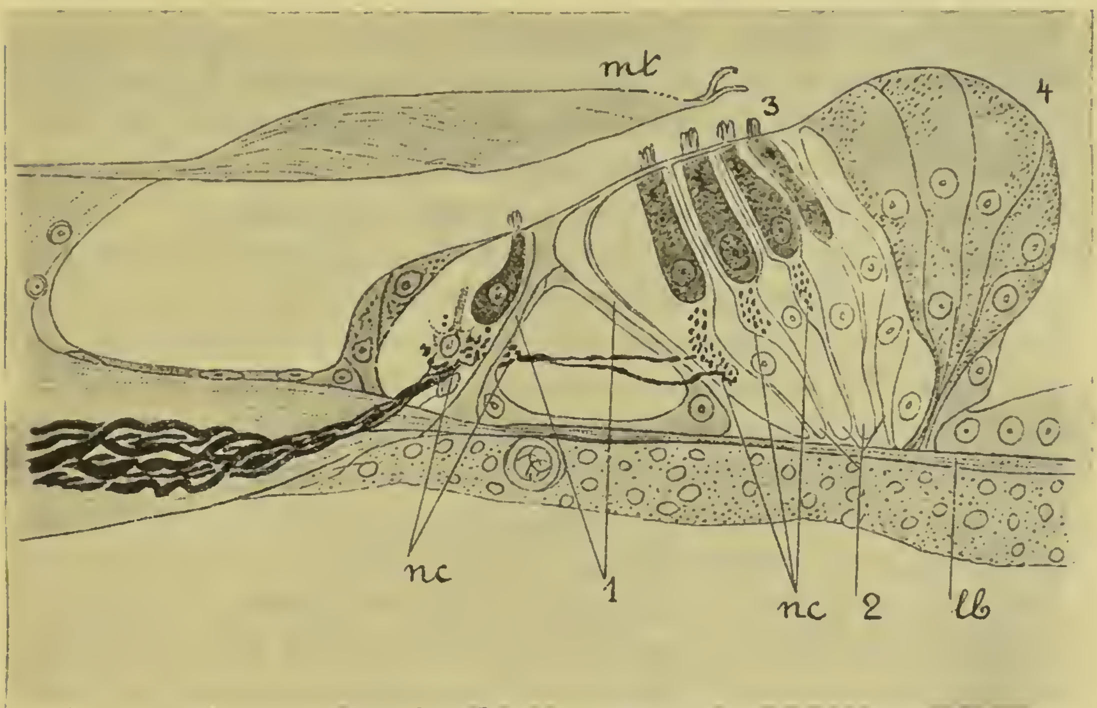


Fig. 48. Durchschnitt des akustischen Endapparates (nach Retzius).

Fortsätze aus der Spindelbasis heraustreten und den Schneckennerven bilden. Die peripheren Fortsätze endigen in dem *Corti'schen Organ*, das auf dem der Spindel am nächsten liegenden Teil der Basilarmembran sitzt. Diese Membran hat einen eigentümlichen Bau. Erstens nimmt sie in der Richtung nach der Schneckenspitze stets an Breite zu, so daß sie am distalen Ende etwa zwölf Mal breiter als am proximalen Ende ist. Zweitens enthält sie eine sehr große Anzahl (um 12000) äußerst feiner, elastischer Fasern, die radiär, von der Knochenlamelle zur Außenwand der Schnecke verlaufen. Diese Fasern endigen am Fuße des Corti'schen Organs, dessen eigentümlichste Teile die *Gehörstäbchen* oder *Corti'schen Pfeiler* (*1*, Fig. 48)

sind. Sie sitzen auf der Basilarmembran dicht nebeneinander in zwei Reihen, die sich oben wie die Sparren eines Daches berühren. Auf den äußeren Flächen der Gehörstäbchen liegen die *Hörzellen* (*2*), die mit den Fasern des Schneckennerven (*nc*) in Verbindung treten und auf ihrer oberen Fläche mit feinen steifen Härchen (*3*) besetzt sind. An die Hörzellen schließen sich einige Reihen von *Stützzellen* (*4*). Die Härchen der Hörzellen endigen frei in dem Kanale, der sich zwischen dem Cortischen Organ und der Membrana tectoria (*mt*) befindet. Man hat bisher angenommen, daß die Härchen, durch die Schwingungen der Basilarmembran in Bewegung gesetzt, gegen die Flüssigkeit in dem engen Kanale reiben und hierdurch die Nerven erregen. Möglicherweise werden die Corti'schen Pfeiler aber gar nicht in Bewegung gesetzt; die Schwingungen der Basilarmembran üben dann nur einen Druck auf die Hörzellen aus, wodurch die Erregung zustande kommt[1]). Die Bedeutung der Härchen ist hiernach unverständlich.

Die peripheren Fortsätze des Vestibularnerven endigen teils in den beiden Säckchen des Vorhofs, teils in den Bogengängen. Die Nervenfasern gehen auch hier zu Haarzellen, die von Stützzellen getragen werden und mit Härchen besetzt sind. In den Bogengängen sind diese Härchen relativ lang, einige Zehntelmillimeter, in den Säckchen dagegen etwa zehn Mal kürzer. Die kurzen Härchen der Säckchen sind von äußerst feinen, scharfkantigen Kalkkrystallen, *Otolithen*, umgeben, die von einer schleimigen Substanz zusammengehalten werden. Die Bedeutung dieser Gebilde wird uns später beschäftigen, wenn wir die Funktionen des Vorhofs und der Bogengänge betrachten; vorläufig gehen wir nur auf die Vorgänge im Schneckenapparate ein, die wohl ausschließlich dem Gehör dienen.

Theorie der Funktion der Schnecke. Wenn das ovale Fenster, durch die Schallwellen in Schwingungen versetzt, sich nach innen biegt, so muß dadurch dem verdrängten Quantum Perilymphe Platz gemacht werden, daß das runde Fenster sich nach außen wölbt. Die Flüssigkeit ist nämlich als inkompressibel anzusehen, und in den festen knöchernen Kanälen gibt es überhaupt keine andere Stelle, wo sie ausweichen kann. Wie schon oben erwähnt, wird eine solche Verschiebung der Flüssig-

[1]) Zwaardemaker: Über den Schalldruck im Corti'schen Organ. Archiv für (Anatomie und) Physiologie. Suppl. 1905.

keit, sobald ihre Geschwindigkeit einigermaßen groß ist, die häutige Schnecke in Bewegung setzen; mit den Schwingungen des ovalen Fensters müssen Schwingungen der Basilarmembran von derselben Schwingungszahl einhergehen. Da ferner Beschädigungen des Schneckenapparates immer partielle oder totale Taubheit des betreffenden Ohres herbeiführen, darf man annehmen, daß die Erregung des Gehörsnerven eben durch die erwähnten Schwingungen der Basilarmembran zustande kommt. Es würde daher vom größten Interesse sein, die Form dieser Schwingungen sowie ihre Abhängigkeit von der Wellenlänge und der Amplitude der Schallwellen zu kennen, weil die im folgenden darzustellenden Eigentümlichkeiten unserer Gehörsempfindungen sich zweifellos größtenteils dadurch erklären ließen. Die mechanischen Verhältnisse des inneren Ohres sind aber zu kompliziert, und unsere Kenntnisse der in Betracht zu ziehenden Faktoren zu gering, um eine sichere Beantwortung dieser Frage zu erlauben. Es steht daher nur der Weg offen, hypothetisch solche Verhältnisse anzunehmen, die imstande sind, das tatsächliche Verhalten der Gehörsempfindungen am einfachsten zu erklären.

An Gehörstheorien fehlt es dann auch nicht. Helmholtz[1]), Ewald[2]), ter Kuile[3]), Ebbinghaus[4]) und Max Meyer[5]) haben verschiedene Hypothesen aufgestellt, die sich nur dadurch voneinander unterscheiden, daß sie verschiedene Schwingungsformen der Basilarmembran annehmen. Auf diese Hypothesen hier näher einzugehen hat keinen Zweck; eine erschöpfende Kritik würde jedenfalls zu weit führen[6]). Wir beschränken uns hier auf die Darstellung der Helmholtz'schen Resonanztheorie, die vor den übrigen den nicht unwesentlichen Vorzug hat, daß sie die meisten der vorliegenden Tatsachen wirklich erklären kann.

Die Resonanztheorie geht davon aus, daß die Fasern der Basilarmembran wie gespannte Saiten verschiedener Länge und Spannung funktionieren, so daß jede Saite einen be-

[1]) Lehre von den Tonempfindungen. 4. Aufl. Braunschweig 1877, S. 240.

[2]) Zur Physiologie des Labyrinths. Pflügers Archiv, Bd. 76, 1899, S. 147 und Bd. 93, 1903, S. 485.

[3]) Die Übertragung der Energie von der Grundmembran auf die Haarzellen. Pflügers Archiv Bd. 79, 1900, S. 504.

[4]) Psychologie Bd. 1, 1902, S. 313.

[5]) Introduction to the mechanics af the inner ear. Missouri 1907.

[6]) Vgl. Schaefers Darstellung in Nagels Handbuch, Bd. 3, S. 562 u. f.

sonderen Eigenton hat und daher durch die entsprechenden Schwingungen des ovalen Fensters in Mitschwingungen versetzt wird. Da indes die Schwingung einer Faser nicht möglich ist, ohne daß die Nachbarfasern daran teilnehmen, so muß immer ein kleiner Teil der Membran gleichzeitig schwingen. Die Qualität der erregten Empfindung wird nur durch die Schwingungszahl des betreffenden, in Bewegung gesetzten Teils der Membran bestimmt, während die Stärke der Empfindung von der Amplitude der Schwingungen abhängig ist. Da die Theorie, wie gesagt, die meisten der vorliegenden Tatsachen erklären kann, ist sie auch recht allgemein angenommen. Die der Theorie zugrunde liegenden Annahmen sind indes nicht eben wahrscheinlich, und um diese Schwierigkeiten zu beseitigen, sind die verschiedenen anderen Gehörstheorien aufgestellt worden. Eine nähere Untersuchung der tatsächlichen Schwingungen einer wie die Basilarmembran gespannten Membran wird uns aber zeigen, daß wir durch eine kleine Modifikation der Theorie einerseits das Resonanzprinzip festhalten, andererseits den gegen die Helmholtz'sche Theorie erhobenen Einwänden entgehen können.

Die wesentlichsten der gegen die Resonanztheorie erhobenen Einwände sind die folgenden. Es ist nicht sehr wahrscheinlich, daß die miteinander verbundenen Fasern der Basilarmembran wie isolierte Saiten schwingen können; viel eher steht eine Fortpflanzung der Bewegung über größere Strecken der Membran zu erwarten. Außerdem ist es recht unverständlich, wie die durch die Schwingungen des ovalen Fensters verschobene Flüssigkeit sich dadurch Platz machen könnte, daß nur einige Fasern der Basilarmembran in Schwingungen versetzt würden. Die Bewegung der Perilymphe erfordert zweifellos, daß mehr oder weniger ausgedehnte Strecken der Membran mitschwingen. Schließlich ist zu berücksichtigen, daß der Tonumfang eines normalen Ohres etwa zwölf Oktaven beträgt. Die Breite der Basilarmembran müßte daher am distalen Ende $2^{12} = 4096$ mal größer als am proximalen Ende sein, wenn die Abstimmung der einzelnen Fasern nur auf dem Längenunterschied beruhen sollte. Tatsächlich ist aber die größte Breite der Membran nur ungefähr 12 mal größer als die kleinste; es müssen also sehr erhebliche Unterschiede der Dicke und der Spannung zwischen den längeren und den kürzeren Fasern angenommen werden. Ob solche Unterschiede aber wirklich vorkommen, ist jedenfalls nicht festgestellt.

Um die Bedeutung dieser Einwände zu prüfen, habe ich die Schwingungen von Membranen untersucht, die wie die Basilarmembran nur in der Querrichtung gespannt, in der Längsrichtung dagegen ganz schlaff waren. Man kann mittels eines einfachen Apparates die Breite und die Spannung einer solchen Membran voneinander unabhängig variieren und dadurch die Bedeutung jedes dieser Faktoren besonders untersuchen [1]. Die Resultate dieser Untersuchung sollen hier kurz angegeben werden.

Die Membran wird einfach auf die Weise in Schwingungen versetzt, daß man sie mit dem Zinken einer tönenden Stimmgabel berührt. Die Schwingungen kann man dadurch sichtbar machen, daß Sand auf die Membran gestreut wird; sobald sie schwingt, sammelt sich der Sand an die Knotenlinien. Wenn die Membran ganz schlaff gehalten wird, gelingt es jedoch kaum, deutliche Knotenlinien zu erzeugen; der Sand wird von der Membran weggeschleudert. Schon eine geringe Spannung reicht aber hin, um der Membran die Elastizität zu geben, die zur Bildung stehender Wellen nötig ist. Die Membran zeigt aber in diesem Falle wie eine Telephonmembran keine hervortretenden Eigenschwingungen; sie wird, unabhängig von ihrer Breite, durch Stimmgabeln sehr verschiedener Schwingungszahl angesprochen. Je nach der Breite treten dann mehr oder weniger regelmäßige Klangfiguren auf, die Systeme von Wellenlinien bilden.

Wird die Membran stärker gespannt, und geht man dann systematisch vor, indem ihre Breite allmählich vergrößert wird, so findet man folgendes. Bei sehr geringer Breite bilden sich gar keine Knotenlinien, obwohl die Membran sichtlich in Schwingungen gesetzt wird. Der Sand wird beim Ansetzen der Stimmgabel entweder in die Höhe geschleudert, um wieder fast an dieselbe Stelle zurückzufallen, oder er wird von der Membran weggeworfen. Bei einer ganz bestimmten Breite, die von der Spannung der Membran und von der Schwingungszahl der Stimmgabel abhängig ist, tritt aber plötzlich ein regelmäßiges System paralleler Knotenlinien auf (Fig. 49). Wird die Breite der Membran nur um wenige Millimeter größer, fangen die Knotenlinien schon an, sich zu biegen, um dann bei noch größerer Breite Systeme von mehr oder weniger ineinander greifenden Wellenlinien zu bilden.

Das Auftreten der geradlinigen Knotenlinien kann zweifellos nur bedeuten, daß die Eigenschwingungen der gespannten Membran dieselbe Schwingungszahl wie die Stimmgabel haben. Jeder zwischen zwei Knotenlinien liegende Teil ist dann als eine Saite anzusehen, deren Länge die Breite der Membran ist und der halben Wellenlänge einer Schwingung entspricht. Andererseits entspricht ebenfalls die Entfernung zwischen zwei Knotenlinien einer halben Wellenlänge; wenn diese Entfernung kleiner ist als die Breite der Membran, so rührt es eben daher, daß die Spannung in der Querrichtung bedeutend größer ist als die Spannung in der Längsrichtung. Dies

[1] Lehmann: Die Schwingungen der Basilarmembran. Folia neurobiologica, Bd. 4, 1910, S. 116.

stimmt vollständig mit der Formel für die Schwingungen einer Saite überein, deren Steifigkeit nicht beachtet zu werden braucht:

$$n = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{g \cdot P}{q}}$$

worin n die Schwingungszahl, l die Länge der Saite, P das spannende Gewicht, g die Akceleration der Schwere und q das Gewicht der Längeneinheit bedeutet. Aus dieser Formel geht hervor, daß l für einen gegebenen Wert des n mit wachsendem Werte des P zunehmen muß. Wird also jeder zwischen zwei Knotenlinien liegende Teil der Membran als eine Saite betrachtet, deren Länge gleich der Breite der Membran ist, so ist die Spannung P relativ groß, das Gewicht der Längeneinheit q relativ klein, und mithin muß l für einen konstanten Wert des n groß ausfallen. Wird aber umgekehrt die Entfernung je zweier Knotenlinien als die Länge der Saite angesehen, so ist P, die Spannung in der Längsrichtung, klein, q relativ groß, und für denselben Wert des n muß l dann klein werden.

Wenn diese Betrachtung stichhaltig ist, so muß, für einen gegebenen Wert des n, die Breite der Membran, bei welcher die geradlinigen Knotenlinien auftreten, mit wachsender Spannung P zunehmen. Gleichzeitig muß aber auch die gegenseitige Entfernung der Knotenlinien wachsen. Wird die Membran nämlich in der Querrichtung gespannt, so wird sie sich in der Längsrichtung verkürzen, was aber wegen der Befestigung der langen Seiten nur teilweise möglich ist. Sie wird hierdurch also auch in der Längsrichtung gespannt; mit der Spannung wächst aber die einer gegebenen Schwingungszahl entsprechende Länge der Saite, d. h. die Entfernung der Knotenlinien wächst mit wachsender Spannung in der Querrichtung. Daß es sich tatsächlich so verhält, geht aus einer Reihe Messungen hervor, die ich bei verschiedener Spannung angestellt habe, indem dieselbe Stimmgabel konstant angewandt wurde.

Es kann hiernach keinem Zweifel unterliegen, wie die Schwingungszahl der Membranschwingungen von der Breite abhängig sein wird. Der obigen Formel zufolge muß nämlich bei konstantem P die Schwingungszahl n nicht im umgekehrten Verhältnis zu l, sondern viel stärker wachsen, weil mit abnehmenden Werten des l ebenfalls die Entfernung der Knotenlinien und damit q abnehmen. Außerdem trägt hierzu der Umstand bei, daß die Steifigkeit der Membran sich um so mehr geltend macht, je geringer ihre Breite. Wenn die Steifigkeit aber nicht vernachlässigt werden darf, so gilt die obige Formel für die Schwingungen der Saiten auch nicht; man erhält dann tatsächlich größere Schwingungszahlen als die nach der Formel berechneten. Die erwähnten verschiedenen Umstände wirken also in derselben Richtung, so daß sich feststellen läßt: wenn die Breite einer in der Querrichtung gespannten Membran in einem bestimmten Verhältnis vermindert wird, so wächst die Schwingungszahl ihrer Eigenschwingungen in einem viel stärkeren Verhältnis.

Die Gültigkeit dieses Satzes geht aus der Fig. 49 hervor. Die vier Klangfiguren entsprechen den Schwingungszahlen 256, 512,

1024 und 2048. Durch Ausmessung überzeugt man sich leicht davon, daß man, um die Schwingungszahl zu verdoppeln, keineswegs die Breite der Membran halbieren muß. So ist z. B. die der Schwingungszahl 2048 entsprechende Breite $^5/_6$ der Breite, die der Schwingungszahl 1024 entspricht. Aller Wahrscheinlichkeit nach würden daher sämtliche höhere Töne bis c^8 nur eine geringfügige

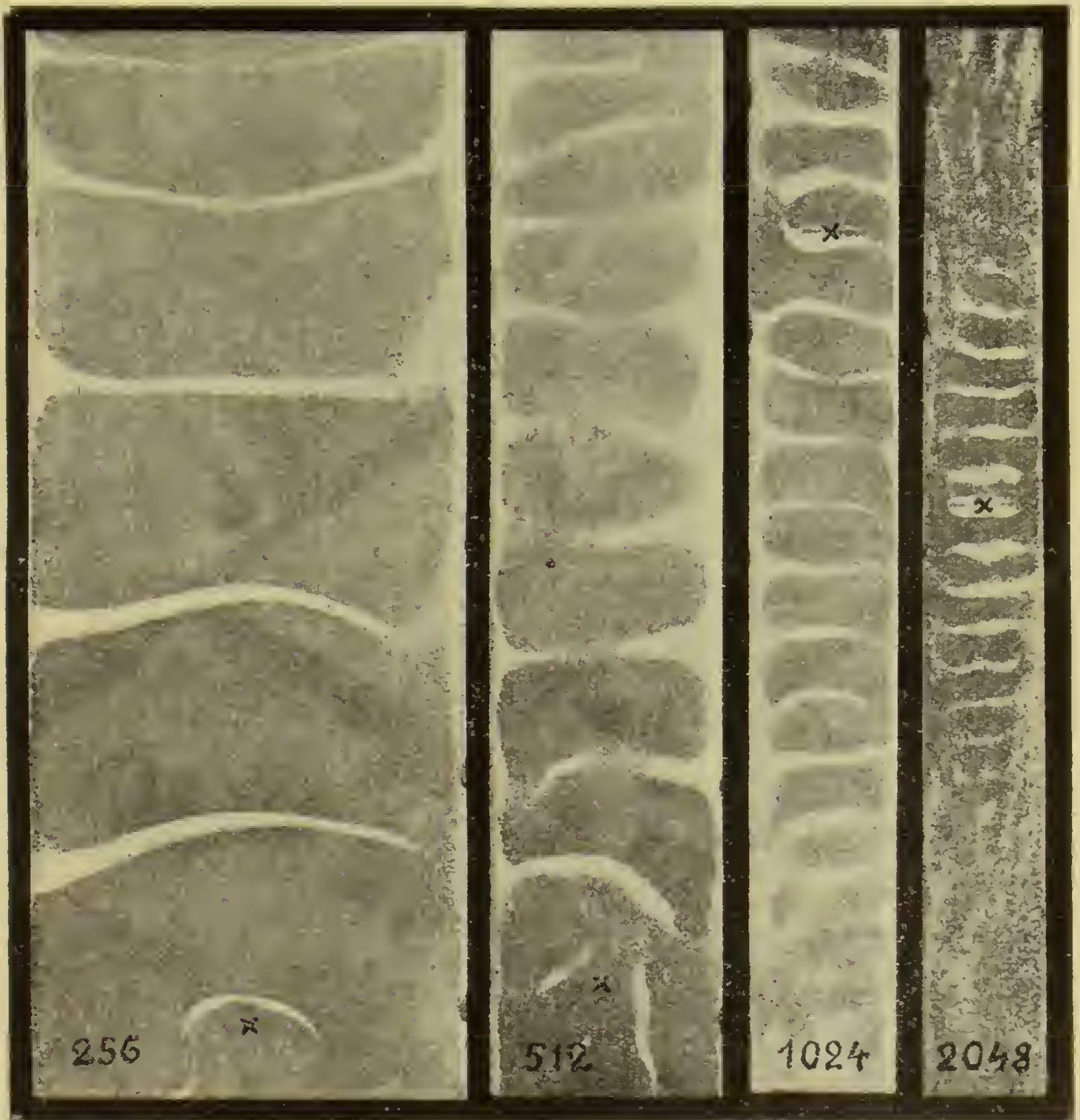


Fig. 49.

fernere Reduktion der Breite erfordern. Es ist daher keineswegs unmöglich, daß die Basilarmembran, trotz der relativ geringen Breitendifferenz der verschiedenen Querschnitte, dennoch einen Tonumfang von etwa zwölf Oktaven haben kann.

Aus dem Vorhergehenden läßt sich nun unschwer folgern, wie sich eine Membran verhalten wird, wenn die langen Seiten derselben einen spitzen Winkel miteinander bilden. Alles übrige gleich, wird dann jeder Querschnitt derselben eine nur von der Breite abhängige

Schwingungszahl haben, und eine Stimmgabel kann keine regelmäßigen Schwingungen hervorrufen, wenn sie nicht eben da aufgesetzt wird, wo die Membran die nämliche Schwingungszahl hat. Die Versuche bestätigen diese Erwartungen. Regelmäßige, geradlinige Knotenlinien bilden sich nur, wo die Breite der Membran der Schwingungszahl der Stimmgabel entspricht; am schmäleren Ende

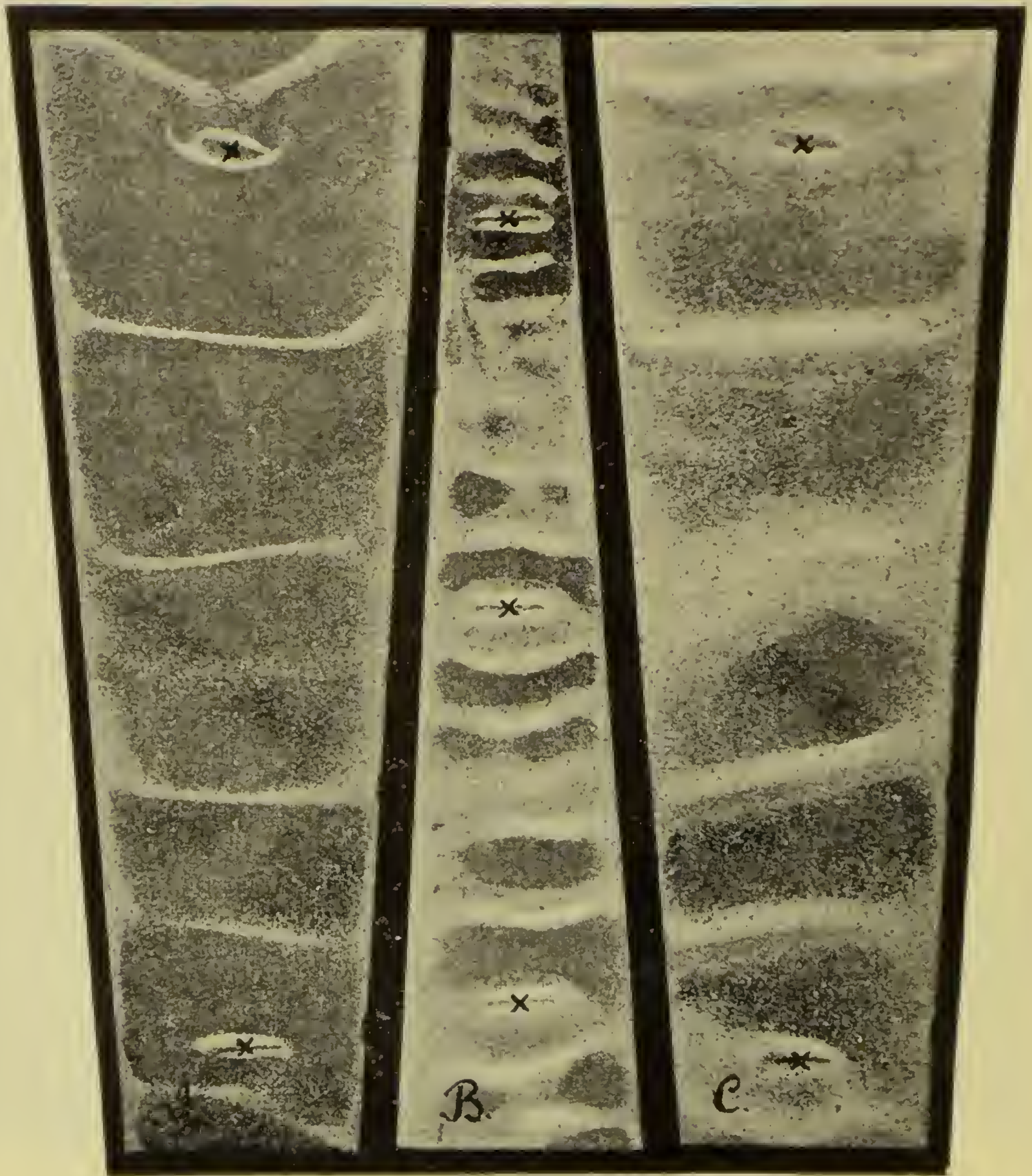


Fig. 50.

der Membran bilden sich überhaupt keine Knotenlinien, und am breiteren Ende entstehen wellenförmige, teilweise in der Längsrichtung verlaufende Linien. Diese unregelmäßigen Schwingungen kommen aber gar nicht zustande, wenn die Membran mittels einer dicken, darauf gestreuten Schicht Sand gedämpft wird. Da die Basilarmembran, teils durch die darauf ruhenden Corti'schen Bögen, teils durch die umgebende Flüssigkeit stark gedämpft ist, so dürfen wir

annehmen, daß stets nur derjenige Teil der Membran in Bewegung gesetzt wird, dessen Eigenschwingungen der Schwingungszahl der Schallwellen entsprechen.

Die Fig. 50 A—C, beleuchtet diese Verhältnisse. Die Fig. 50 A entstand durch das *gleichzeitige* Aufsetzen der Stimmgabeln $c^1 = 256$ und $a^1 = 435$ auf die Stellen, deren Breite den erwähnten Schwingungszahlen entsprach. Jede Stimmgabel erzeugt nur ein paar Knotenlinien je an ihrer Stelle, so daß die Schwingungen sich gegenseitig nicht stören. Wird eine dicke Schicht Sand auf die Membran gestreut, wird die Dämpfung so stark, daß die Stimmgabeln *sukzessiv* aufgesetzt werden können, wie aus der Fig. 50 C ersichtlich; die beiden Wellensysteme sind hier durch ein neutrales Gebiet getrennt, wo der Sand ruhig liegen bleibt. Die Fig. 50 B schließlich ist von den ebenfalls sukzessiv aufgesetzten Gabeln $c^2 = 512$, $c^3 = 1024$ und $c^4 = 2048$ erzeugt. Wenn die Schwingungen sich vom Reizungsorte über die ganze Membran fortpflanzten, so müßten die von der zuerst aufgesetzten Stimmgabel erzeugten Knotenlinien von der zuzweit aufgesetzten Gabel zerstört werden. Wie die Figuren zeigen, ist dies aber durchaus nicht der Fall; jede Stimmgabel erzeugt nur wenige Knotenlinien an der Stelle, deren Eigenschwinguugen die entsprechende Schwingungszahl haben, und diese Gebiete greifen nicht ineinander über.

Die Schwingungen einer in der Querrichtung gespannten und gedämpften Membran von variabler Breite entsprechen also, wie wir gesehen haben, nicht genau der Helmholtz'schen Annahme. Jeder Querschnitt der Membran hat zwar eine besondere, von der jeweiligen Breite abhängige Schwingungszahl; wird die Membran aber durch eine einfache Schallwelle in Schwingungen versetzt, schwingt gleichzeitig immer eine gewisse Strecke der Membran, die um so größer ist, je tiefer der Ton. Bei geringer Spannung der Membran werden ihre Eigenschwingungen weniger ausgesprochen, so daß ein gegebener Ton größere Strecken in Schwingungen versetzen kann, indem sich in der Querrichtung verlaufende Knotenlinien bilden.

Meines Erachtens widerspricht nichts der Annahme, daß die Basilarmembran sich ebenso verhält. Der bedeutende Unterschied der Größe kann kaum in Betracht kommen. Ewald hat nämlich nachgewiesen, daß selbst äußerst kleine, schlaffe Membranen (0,55 mm breit und 8,5 mm lang), die von Wasser umgeben sind, von Tönen mittlerer Tonhöhe erregt werden können. Es kann daher keinem Zweifel unterliegen, daß solche kleinen, gespannten Membranen, ebenso wie die oben untersuchten größeren, Eigenschwingungen haben, die durch die Breite, die Spannung und die Steifigkeit der Membran-

teile bestimmt sind. Der besondere Bau der Basilarmembran kann in dieser Beziehung wohl kaum einen Unterschied machen. Da die in der Querrichtung verlaufenden Fasern sehr fest sind, ihre gegenseitige Verbindung dagegen recht locker, und da eine Spannung in der Längsrichtung mithin unmöglich ist, so hat dieser Bau wohl nur zur Folge, daß der Unterschied der Spannung in den beiden Richtungen möglichst groß wird. Dadurch werden aber die für die einseitig gespannten Membranen geltenden Gesetze nicht aufgehoben.

Nehmen wir nun an, daß die Basilarmembran sich einfach wie eine einseitig gespannte Membran verhält, so sind die drei oben erwähnten Einwände gegen die Helmholtz'sche Resonanztheorie beseitigt. Erstens ist es nämlich experimentell nachgewiesen, daß zwar nicht die von Helmholtz angenommenen, jedenfalls aber sehr ähnliche Schwingungen entstehen können. Zweitens reichen, wie erwähnt, die drei Faktoren, die Breite, die Spannung und die Steifigkeit, fast aus, um der Membran den Tonumfang des normalen Ohres zu geben; nur bei dem auf die tiefsten Töne eingestimmten Teil der Membran kann vielleicht noch eine größere Dicke nötig sein. Drittens sind die Schwingungen, die die Membran tatsächlich ausführen kann, eben solcher Art, daß sie einer gewissen Menge Flüssigkeit Platz machen können, indem nicht nur einzelne Fasern, sondern Membranteile erheblicher Breite gleichzeitig schwingen.

Schließlich ist es auch verständlich, wie die Basilarmembran in die vorausgesetzten Schwingungen kommen kann. Wenn die Perilymphe der Vorhofstreppe vom ovalen Fenster verschoben wird und pendelnde Bewegungen ausführt, wodurch sie bald einen positiven, bald einen negativen Druck auf die Basilarmembran ausübt, so biegen sich natürlich anfangs die proximalen Teile der Membran unter diesem Drucke. Stimmen aber die Schwingungen der Perilymphe mit den Eigenschwingungen dieser Membranteile nicht überein, so muß die Flüssigkeit die Vorhofstreppe entlang weiter verschoben werden, indem die schneller schwingenden Membranteile wieder zurückschwingen. Wenn schließlich die auf den betreffenden Ton eingestimmten Teile der Membran mitschwingen, so pendeln also synchronistisch diese Teile, die beiden Fenster und Flüssigkeitssäulen der Vorhofs- und der Paukentreppe, wodurch alle Schwingungen anderer Schwingungszahlen aufgehoben werden müssen.

Im folgenden werden wir sehen, wie die hier dargestellte Form der Resonanztheorie imstande ist, alle einigermaßen wesentlichen Tatsachen zu erklären.

Dreiunddreißigstes Kapitel.
Die Gehörsempfindungen.

Wie alle anderen Empfindungen haben auch die Gehörsempfindungen fünf Dimensionen: Art, Stärke, Dauer, Ausdehnung und Klarheit, von welchen nur die vier ersteren hier behandelt werden können. Mehrere dieser Dimensionen sind indes nicht völlig voneinander unabhängig. Der Qualität nach teilt man die Gehörsempfindungen in zwei Hauptgruppen: die *Töne* und die *Geräusche.* Dieser Artsunterschied ist wohl zunächst nur ein Unterschied der Dauer und der Zusammensetzung. Geräusch nennen wir eine Gehörsempfindung, wenn sie entweder nur eine äußerst geringe Dauer hat (Knall), oder wenn sie bei längerer Dauer fortwährend unregelmäßig variiert. Ein Ton dagegen ist eine Gehörsempfindung, die sich während einer beliebigen, nur nicht zu kurzen Zeit unverändert hält. Ein besonderes Gewicht muß hier auf die Dauer der konstanten Empfindung gelegt werden. Ein Ton kann sich nämlich sehr wohl in qualitativer oder intensiver Beziehung verändern, ohne deshalb seinen Charakter als Ton zu verlieren, wenn die Veränderung nur genügend langsam stattfindet. Sobald aber die Geschwindigkeit der Veränderung eine gewisse Grenze überschreitet, entsteht ein Geräusch (Geheul). Bei den meisten dauernden Geräuschen läßt sich leicht beobachten, daß die Empfindung fortwährend sehr schnellen und unregelmäßigen Veränderungen unterworfen ist.

Eine scharfe Grenze zwischen Tönen und Geräuschen ist, dem Angeführten zufolge, kaum zu ziehen. Es gibt alle möglichen Übergangsstufen zwischen dem anhaltenden reinen Ton und z. B. dem unaufhörlich wechselnden Geräusch einer stark befahrenen Straße. Die meisten Töne sind mit Nebengeräuschen verbunden, und aus den eigentlichen Geräuschen lassen sich oft Töne heraushören: Das Rieseln eines Baches, das Brausen eines Wasserfalls, das Sausen des Windes usw. können trotz oder neben den fortwährenden Schwankungen der Empfindungen einen so konstanten Charakter haben, daß sie tonähnlich werden. In dieser Beziehung bestehen übrigens sehr große individuelle Unterschiede. Wer durch musikalische

Bildung geübt ist, Töne aufzufassen, unterscheidet leicht Töne unter Umständen, wo der Unmusikalische nur ein Geräusch hört; so sind z. B. komplizierte Musikstücke den Unmusikalischen tatsächlich oft nur Geräusche.

Wie leicht ersichtlich sind die Geräusche — mit Ausnahme der Knalle — eigentlich keine Empfindungen im engeren Sinne des Wortes, da sie aus wechselnden Empfindungen zusammengesetzt sind. Das Rasseln eines Wagens z. B. ist streng genommen ebensowohl eine Wahrnehmung wie das Gesichtsbild des Wagens. Da diese Schallwahrnehmungen aber durch alle möglichen Zwischenstufen zu den eigentlichen Schallempfindungen übergehen, würde eine Trennung gekünstelt erscheinen. Was übrigens von den Geräuschen zu sagen ist, kann eigentlich nur das negative sein, daß eine systematische Behandlung derselben sich kaum durchführen läßt, eben weil die Veränderlichkeit, der unaufhörliche Wechsel des Empfindungsinhaltes, ihr wesentlichstes Merkmal ist. Ihre Anzahl ist daher auch sehr groß, obwohl im Alltagsleben natürlich nur eine begrenzte Menge derselben vorkommt und, wie alle sonstigen Wahrnehmungen, uns von der Gegenwart bestimmter Objekte oder vom Stattfinden gewisser Tätigkeiten unterrichtet.

Die *Töne* sind konstante, einfache Gehörsempfindungen; die Artsunterschiede derselben bezeichnet man als Unterschiede der *Höhe*. Man kann sämtliche Töne nach ihrer Höhe in eine Reihe ordnen, oder jedenfalls sich geordnet denken. Je weiter zwei Töne in dieser Reihe voneinander entfernt sind, um so geringer ist ihre gegenseitige *Ähnlichkeit*. Eine solche Ordnung einer gewissen Anzahl Töne ist in den musikalischen Tasteninstrumenten (Klavier, Harmonium, Orgel) durchgeführt. Die in der Musik zur Anwendung kommenden sind indes nur ein geringer Teil der überhaupt unterscheidbaren Töne, indem nur solche Töne gewählt sind, die entweder mit einem einmal festgestellten Ton, dem Grundton, oder miteinander *konsonieren. Konsonant sind aber die Töne, die beim Zusammenklang einen klaren, einheitlichen und angenehmen Eindruck machen; ist der Zusammenklang dagegen verworren, mehrheitlich und unangenehm, wird er dissonant genannt*[1]). Wie wir später (S. 288) sehen werden, findet man zwischen den konsonierenden Tönen immer bestimmte Intervalle, d. h. Verhältnisse der Schwingungszahlen der Schallwellen; und die Stärke der Konsonanz ist

[1]) Krueger: Konsonanz und Dissonanz. Archiv für Psych. Bd. 2, S. 27.

von der Größe des Intervalles abhängig. Am meisten konsonant ist die Oktave; nach der jetzigen Auffassung ist die Reihenfolge der übrigen Konsonanzen: Quinte und Quarte, große Terz und große Sexte, kleine Terz und kleine Sexte.

Während jeder normal Musikalische die Konsonanz und Dissonanz beim Zusammenklang der Töne unmittelbar hören kann, erfordert es eine gewisse musikalische Bildung und Übung, diese Beziehungen aufzufassen, wenn die Töne nicht gleichzeitig, sondern nacheinander erklingen. Je nach dem Grade der Konsonanz, die zwischen gleichzeitig erklingenden Tönen besteht, sind die Töne, wenn sie aufeinander folgen, mehr oder weniger *verwandt*. *Die Verwandtschaft und die Ähnlichkeit der Töne sind zwei ganz verschiedene Tatsachen der inneren Erfahrung,* was schon daraus hervorgeht, daß die Unmusikalischen sehr wohl die größere oder geringere Ähnlichkeit der Töne auffassen können, während ihnen das Auffassen der Konsonanz und damit auch die der Tonverwandtschaft völlig abgehen. Trotz diesem wesentlichen Unterschiede werden Ähnlichkeit und Tonverwandtschaft oft miteinander verwechselt. Wenn die Musik-Infizierten — um einen treffenden Ausdruck Stumpfs zu benutzen [1]) — behaupten, daß die sukzessiven, immer höher werdenden Töne periodisch eine größere Ähnlichkeit mit einem gegebenen Ausgangspunkte aufweisen, so verwechseln sie hier zweifellos Ähnlichkeit und Tonverwandtschaft. Da die Unmusikalischen keine Spur einer solchen Periodizität empfinden können, so folgert denn auch Stumpf, daß die behauptete Periodizität nur auf Tonverwandtschaft beruht [2]). Wir können daher feststellen: *die Töne bilden, hinsichtlich ihrer Höhe, eine Reihe, eine eindimensionale Mannigfaltigkeit, wo zwei beliebige Glieder sich um so unähnlicher sind, je weiter sie voneinander in der Reihe entfernt sind.*

Dem Höhenunterschied parallel verändert sich ebenfalls die *räumliche Ausdehnung* der Empfindung. Die tiefen Töne sind breiter, dicker, umspülen den Körper, während die hohen scharf oder spitz in die Ohren eindringen. Obwohl also die Ausdehnung mit der Qualität variiert, sind die beiden Dimensionen dennoch nicht bloß verschiedene Namen derselben

---

[1]) Zeitschrift für Psychologie. Bd. 1, S. 445.

[2]) Tonpsychologie. Bd. 2, 1890. S. 196 f. Stumpf gebraucht hier das Wort „Verschmelzung", die seiner Ansicht nach die Ursache der Konsonanz und der Tonverwandtschaft ist.

Eigentümlichkeit; sie sind zum Teil voneinander unabhängig. Erstens ist der Unterschied der Ausdehnung eigentlich nur merklich, wenn man Töne größerer Höhenunterschiede vergleicht. Zwei Töne, die sich so ähnlich sind, daß ihr Höhenunterschied sich eben mit Sicherheit beurteilen läßt, haben keinen merklichen Unterschied der Ausdehnung. Wir können also die Höhendifferenz unabhängig von der Ausdehnung empfinden; die Höhe ist eine spezifische Eigentümlichkeit der Töne, die Ausdehnung ist ein räumliches Merkmal, das jeder Empfindung anhaftet. Umgekehrt empfindet man, wenn die Töne sehr hoch werden, schließlich fast keinen Höhenunterschied, wogegen die Töne immer spitzer werden; es bestehen also hier Differenzen der Ausdehnung unabhängig von den Höhenunterschieden. Ferner geht diese gegenseitige Unabhängigkeit der beiden Dimensionen daraus hervor, daß die Differenz der Ausdehnung fast verschwindet, wenn die Töne in größerer Entfernung von der Tonquelle gehört werden. Zwei sehr verschiedene Töne, die, in der Nähe gehört, den charakteristischen Unterschied der Ausdehnung stark hervortreten lassen, werden, vom anderen Zimmer aus durch die geschlossene Tür gehört, in dieser Beziehung fast gleich. Dabei bemerkt man leicht, daß mit der Entfernung die Ausdehnung des tieferen Tons abnimmt, die des höheren dagegen zunimmt.

Daß die Ausdehnung der Töne nicht einfach auf Assoziationen beruht, wie oft behauptet worden ist, scheint mir daraus hervorzugehen, daß viele, sowohl musikalische als unmusikalische Personen diese Eigentümlichkeit gar nicht kennen, nie bemerkt haben. Sobald man sie aber einen tiefen und einen hohen Ton hören läßt, und ihre Aufmerksamkeit auf das Breite, Massige, des ersteren, das Dünne, Spitzige, des letzteren Tons lenkt, tritt ihnen der Unterschied sofort als etwas fast Wunderbares hervor. Nun werden Assoziationen gewöhnlich nicht im Handumdrehen geschaffen, und wenn, wie hier, das zweite Glied der Verbindung gar nicht angegeben wird, sind sie wohl völlig ausgeschlossen. *Die Ausdehnung ist daher eine unmittelbar empfundene Eigentümlichkeit der Töne, die etwas ganz Anderes als ihre Höhe ist, obwohl die Differenz der Ausdehnung zumeist mit der Höhe variiert.*

Die Höhe und die Ausdehnung der Töne sind also zwei verschiedene Tatsachen der inneren Erfahrung. Es ist aber recht wahrscheinlich, daß der Name „Höhe“ als Bezeichnung

der Qualitätsunterschiede sich eben deshalb in den meisten Sprachen eingebürgert hat, weil die mit den Qualitätsänderungen einhergehende Variation der räumlichen Ausdehnung besonders leicht bemerkt wird [1]).

Völlig unabhängig von der Art der Gehörsempfindung kann ihre *Stärke* variieren. Sowohl Geräusche als Töne können alle möglichen Stärkegrade, von der Reizschwelle bis zur Unerträglichkeit hinauf, durchlaufen. Wahrscheinlich verändern jedoch verschiedene Geräusche mit wachsender Intensität ihren Charakter. Es ist ebenfalls beobachtet worden, daß ein Ton mit wachsender Intensität tiefer wird. Dieses Vertiefen des stärkeren Tons ist in der mittleren Höhenlage nur gering, bei tieferen Tönen dagegen recht bedeutend [2]).

Außer den eben erwähnten Dimensionen werden den Tönen noch verschiedene Klangfarben zugeschrieben. Daß ein beliebiger Ton, mittels verschiedener Instrumente angegeben, tatsächlich nicht denselben Klang hat, kann auch von ganz Unmusikalischen gehört werden, und es erfordert nur geringe Übung, die Klänge der häufigst vorkommenden, verschiedenen Instrumente (Klavier, Orgel, Violine, Horn, Trommel usw.) wiederzuerkennen. Die Klangfarbe ist aber keine besondere Dimension der Töne; sie beruht nur darauf, daß mehrere Töne gleichzeitig auftreten. *Ein Ton mit Klangfarbe ist kein einfacher Ton, sondern ein Klang, ein Zusammenklang mehrerer Töne.* Einfache Töne können wir nur mittels Stimmgabeln auf Resonanzkästen oder mittels kubischer, gedeckter Orgelpfeifen hervorbringen, und sie sind im Gegensatz zu den Klängen der Musikinstrumente eigentümlich klanglos. Daß die Klangfarbe tatsächlich von mehreren gleichzeitigen Tönen herrührt, läßt sich entweder auf physikalischem Wege nachweisen oder direkt hören. Wie schon erwähnt, hat das musikalische Ohr vor dem unmusikalischen den Vorzug, daß es oft Töne zu unterscheiden vermag, wo das unmusikalische Ohr nur eine einheitliche Klangmasse hört. Aus einem Klange ist das musikalische Ohr fast immer imstande, eine gewisse Anzahl der vorhandenen Töne herauszuhören, und findet dann daß mit der Klangfarbe sich diese den Klang konstituierenden. Töne verändern.

---

[1]) Stumpf: Tonpsychologie. Bd. 1. 1883. S. 189 u. f.

[2]) Stumpf: Zeitschrift für Psychologie. Bd. 55, S. 78. Ewald und Jäderholm, Pflügers Archiv. Bd. 124, S. 35.

Anomalien des Gehörssinnes, die den verschiedenen Formen der Farbenblindheit entsprechen, kommen nicht vor. *Der mehrmals berührte Unterschied zwischen dem musikalischen und dem unmusikalischen Ohre beruht,* so viel wir wissen, nicht darauf, daß das letztere die Töne anders auffaßt als das erstere, sondern *lediglich auf einer Herabsetzung der Fähigkeit, gleichzeitige Töne zu unterscheiden.* Es gehen also dem Unmusikalischen keine Tonempfindungen ab, nur die Analyse der gleichzeitig erklingenden Töne ist mehr oder weniger erschwert, in den extremen Fällen unmöglich. Diese Unmöglichkeit der Analyse, oder vollständige Verschmelzung gleichzeitiger Töne, ist die einzige *Tonanomalie* sonst normaler Ohren, die man kennt. Alle Unterschiede zwischen solchen Tonanomalen und den normal Musikalischen lassen sich auf die Unfähigkeit des Analysierens zurückführen [1]). Der Tonanomale kann den Unterschied zwischen Konsonanzen und Dissonanzen nicht auffassen, eben weil er nicht imstande ist zu hören, ob ein oder mehrere Töne gleichzeitig erklingen. Selbstvertändlich kann er noch weniger die Verwandtschaft aufeinander folgender Töne beurteilen. Er ist daher auch völlig unmusikalisch. Wegen des fehlenden Sinnes für Musik wird er nur wenig Gelegenheit haben, sich mit Tönen zu beschäftigen, und er wird daher auch die verschiedene Höhe der Töne sehr unsicher beurteilen. Daß diese Unsicherheit indes fast ausschließlich auf fehlender Übung beruht, geht daraus hervor, daß er recht schnell die Beurteilung der Höhenverhältnisse lernen kann. Da es übrigens zwischen den Tonanomalen und den Musikalischen alle möglichen Übergangsstufen gibt, ist es nicht leicht, eine Grenze festzustellen, wo die Anomalie schließlich anfängt. Fehlt die Fähigkeit völlig, gleichzeitig erklingende Töne zu analysieren, so liegt zweifellos die Anomalie vor; dies läßt sich aber nur durch eine umständliche Untersuchung konstatieren. Am einfachsten kann man wohl den Tonanomalen an seiner Unfähigkeit, Konsonanzen und Dissonanzen zu unterscheiden, erkennen.

Als Folge von *Erkrankungen des inneren Ohres* können höchst eigentümliche Funktionsstörungen auftreten. Bei der Untersuchung von Taubstummen mittels Stimmgabeln hat man gefunden, daß die Taubheit keineswegs immer total ist, sondern daß sehr oft die Empfindlichkeit für größere oder geringere,

---

[1]) Lehmann: Die Schwingungen der Basilarmembran. S. 118.

scharf begrenzte Teile der Tonreihe noch erhalten ist [1]). Die Störungen können in der Tonreihe überall vorkommen, am häufigsten ist jedoch das Auftreten der Hördefekte am unteren oder am oberen Ende der Skala, so daß die Gehörbreite eingeschränkt ist. Die Einschränkung kann soweit gehen, daß die Töne, die noch gehört werden können, nur eine „Insel“ in der Tonreihe bilden. Ebenfalls kommt es vor, daß die Hörfähigkeit „Lücken“ aufweist, an Strecken größeren oder geringeren Umfanges unterbrochen ist. Wenn eine solche Hörlücke eben die Oktaven umfaßt, die der Höhe der menschlichen Stimme entspricht ($b^1 — g^2$), so besteht mithin Taubheit für die Sprache, während die Hörfähigkeit für andere Tonhöhen sehr wohl entwickelt sein kann.

Diese verschiedenen Tatsachen sind in schönster Übereinstimmung mit der Resonanztheorie, die vor allen übrigen Hörtheorien den Vorzug hat, daß sie solche scharf umschriebenen, lokalen Einschränkungen des Gehörssinnes zu erklären imstande ist. Wird die häutige Schnecke an irgend einer Stelle funktionsunfähig, so entsteht dadurch eine Lücke in der Tonreihe.

Vierunddreißigstes Kapitel.

Abhängigkeit der Tonempfindungen von den Reizen.

Die Tonempfindungen entstehen, wenn das Sinnesorgan von einfachen, regelmäßigen, sich genügend schnell wiederholenden Schwingungen erregt wird. Diese Schwingungen kommen zustande, indem Teile elastischer Körper von der Gleichgewichtslage entfernt werden und wegen der Elastizität wieder zurückschnellen. Die Schwingungen werden dem Ohr in der Regel durch die Luft übermittelt, können sich aber auch durch feste Körper, z. B. durch den Schädel, fortpflanzen und auf diese Weise dem Sinnesorgane zugeführt werden. Für die jeweilige Lage der schwingenden Teile gibt uns die Physik einen einfachen Ausdruck. Es seien T die Dauer einer vollständigen Schwingung eines Massenpunktes, t die seit dem

---

[1]) Bezold: Das Hörvermögen der Taubstummen. Wiesbaden 1896. Zeitschrift für Ohrenheilkunde. Bd. 36, 1899. Münchener medizinische Wochenschrift. 19—20, 1900.

Anfang einer Schwingung verflossene Zeit, so ist die Entfernung y des Massenpunktes von der Gleichgewichtslage:

$$y = a \sin \cdot 2\pi \frac{t}{T} \quad \text{(Gl. 44).}$$

Eine solche Bewegung wird daher eine Sinusschwingung genannt. Wird t als Abszisse, y als Ordinate abgesetzt, erhält man eine Kurve, die die Entfernung des bewegten Punktes von der Gleichgewichtslage als Funktion von der Zeit darstellt (Fig. 51). Die Abszisse $AB = BC$ entspricht hier dem Werte $t = T$; der zwischen A und B oder B und C liegende Teil der Kurve entspricht also einer vollständigen Schwingung. Eine schwingende Stimmgabel, die ihre Bewegung auf eine rotierende, berußte Trommel schreibt, zeichnet eine solche Kurve. Aus der obigen Gleichung erhält man $y = a$, wenn

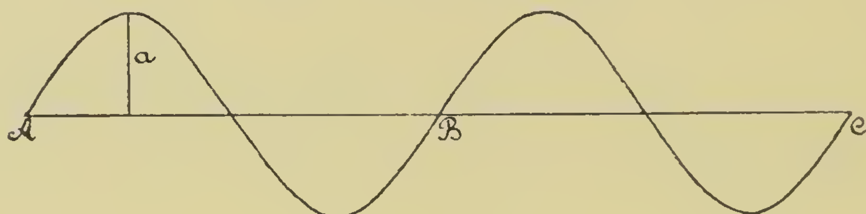


Fig. 51.

$t = \frac{T}{4}$ oder $t = \frac{3T}{4}$, indem dann $\sin \cdot 2\pi \frac{t}{T} = 1$; a ist somit die maximale Entfernung des Punktes von der Gleichgewichtslage (vgl. Fig. 51), und diese Größe wird die Amplitude der Schwingung genannt. Führt der Massepunkt n Schwingungen in der Sekunde aus, so ist also $T = \frac{1}{n}$, und die Gleich. 44 läßt sich auf die Form bringen:

$$y = a \sin \cdot 2\pi nt \quad \text{(Gl. 44a).}$$

Die Größe n, die Anzahl der Schwingungen pro Sekunde, wird die Schwingungszahl der Wellenbewegung genannt.

Die *Qualität der Tonempfindung* ist von der Schwingungszahl der Bewegung auf die Weise abhängig, daß die Höhe der Töne innerhalb bestimmter Grenzen mit wachsendem Werte des n zunimmt. Wird n zu klein, so hört man keinen Ton, sondern eine Reihe sukzessiver Stöße; geht die Schwingungszahl dagegen über eine gewisse obere Grenze hinaus, so hört man überhaupt nichts. Diese *untere und obere Grenze* festzustellen, ist nicht leicht. Bei der unteren Grenze besteht die Schwierigkeit hauptsächlich darin, festzustellen, wann der

kontinuierliche Ton sich in isolierte Tonstöße auflöst. Die Angaben schwanken zwischen 15 und 40 Schwingungen pro Sekunde, was teils von der angewandten Tonquelle, teils von den erheblichen individuellen Unterschieden herrührt. An der oberen Grenze hat die physikalische Bestimmung der Schwingungszahl bisher Schwierigkeiten bereitet, so daß die älteren Angaben dieser Grenze unzuverlässig und durchweg zu hoch sind. Nachdem man Methoden zur genauen Bestimmung der Schwingungszahl „unhörbare Töne" gefunden hat[1]), zeigt es sich, daß die obere Grenze der Töne selten 20000 Schwingungen überschreitet[2]).

Innerhalb der angeführten Grenzen liegt also die Anzahl Schwingungen, die überhaupt das Ohr erregt; in der Musik finden indes nur die Töne Anwendung, deren Schwingungszahlen zwischen 30 und etwa 4000 liegen. *In dieser Höhenlage nimmt die Ähnlichkeit der Töne annähernd umgekehrt proportional zur Differenz der Schwingungszahlen ab*, wenn die Intervalle der Töne nicht über eine Oktave hinausgehen[3]). Es seien n_1, n_2 und n_3 die Schwingungszahlen dreier Töne, wo $n_1 > n_2 > n_3$. Wenn diese Töne so gewählt sind, daß n_2 ebenso viel höher als n_3 wie tiefer als n_1 beurteilt wird, so findet man $n_1 - n_2 = n_2 - n_3$.

Die von Stumpf gegen die Lorenz'schen Resultate erhobenen Einwände sind kaum stichhaltig. Stumpf behauptet nämlich, daß die Versuchsergebnisse überall durch die Verwandtschaft der Töne bestimmt seien, so daß der als Mitte bezeichnete Ton immer in dem möglichst konsonanten Verhältnis zu den Grenztönen stände. Bei den sich an den Versuchen beteiligenden musikalischen Personen mag dies der Fall gewesen sein; bei den tonanomalen Teilnehmern ist diese Möglichkeit gänzlich ausgeschlossen, da sie keine Ahnung von Konsonanz und Tonverwandtschaft hatten[4]).

Der Lorenz'sche Satz ist bei nicht zu großen Intervallen für die Tonanomalen zweifellos gültig. So finde ich am Klaviere die folgende Reihe gleichgroßer Tonunterschiede, wenn ich von der Oktave C_1—C ausgehend den Ton suche, der ebenso viel höher als C wie C_1 tiefer als C erscheint:

---

[1]) Melde: Wiedemanns Annalen. Neue Folge, Bd. 51 und 52. 1894.

[2]) Schwendt: Pflügers Archiv, Bd. 75 und 76, 1899. Vgl. Nagels Handbuch. Bd. 3. S. 477 u. f.

[3]) Lorenz: Über die Auffassung von Tondistanzen. Wundt: Philosophische Studien. Bd. 6. S. 26 u. f.

[4]) Siehe die Diskussion zwischen Stumpf, Zeitschrift für Psychologie, Bd. 1 und 2, und Wundt, Philosophische Studien, Bd. 6 und 7.

Töne	C_1		C		G		c		e
Schwingungszahl	32,3		64,6		96,7		129,2		161,5
Differenz		32,3		32,1		32,5		32,5	

Wenn ich dagegen von dem größeren Intervalle c^1—dis^2 sowohl aufwärts als abwärts gehe:

Töne	G_2		F		c^1		dis^2		c^3
Schwingungszahl	24,2		84,2		258,4		615		1033,6
Differenz		60		174,2		356,6		418,6	

Welche Faktoren im letzteren Falle für die Beurteilung der Höhenunterschiede maßgebend sind, läßt sich wohl ohne Untersuchung mehrerer Tonanomalen kaum feststellen. Ich habe leider hierzu keine Gelegenheit gefunden.

Schon ein sehr geringer Unterschied der Schwingungszahlen genügt, um einen eben merklichen Unterschied der Tonhöhe hervorzubringen. Die Angaben verschiedener Forscher schwanken zwischen 0,3 und 0,6 Schwingungen[1]), und dieser Unterschied ist in der mittleren Höhenlage unabhängig von der Tonhöhe. Ein feines musikalisches Ohr ist außerdem in den meisten Fällen imstande, anzugeben, welcher von diesen nur wenig verschiedenen Tönen der höhere ist. Handelt es sich nur darum, die Gleichheit oder Ungleichheit der Töne zu beurteilen, können noch kleinere Differenzen bemerkt werden. Die Anzahl Töne, die sich überhaupt unterscheiden lassen, ist somit außerordentlich groß, obwohl die Unterschiedsempfindlichkeit sowohl für sehr tiefe als für sehr hohe Töne viel geringer ist als in der mittleren Höhenlage.

Die Unterschiedsempfindlichkeit der Tonanomalen für Töne verschiedener Höhe ist indes bedeutend geringer. Kleinere Unterschiede als 2 Schwingungen kann ich mit Sicherheit kaum hören; die Angabe, welcher Ton der höhere sei, wird erst mit Sicherheit möglich, wenn das Intervall eine Terz überschreitet.

Die in der Musik zur Anwendung kommenden *konsonanten Intervalle* zeichnen sich dadurch aus, daß das Verhältnis zwischen den Schwingungszahlen der Töne sich immer durch sehr kleine Zahlen ausdrücken läßt. Diese Verhältnisse sind für die Oktave 2 : 1, für die Quinte 3 : 2, Quarte 4 : 3, große Terz 5 : 4, große Sexte 5 : 3, kleine Terz 6 : 5 und kleine Sexte 8 : 5; die absoluten Werte der Schwingungszahlen sind

---

[1]) Nagels Handbuch, Bd. 3, S. 483 u. f.

hierbei ohne Bedeutung. Außer diesen Intervallen kommen in der Musik noch mehrere andere vor: die Sekunde, 9 : 8, die dadurch erhalten wird, daß man von der Quinte eine Quarte zurückgeht $\left(\frac{3}{2} \cdot \frac{3}{4} = \frac{9}{8}\right)$, und die Septime, 15 : 8, die eine Terz oberhalb der Quinte liegt $\left(\frac{3}{2} \cdot \frac{5}{4} = \frac{15}{8}\right)$. In der sogenannten diatonischen *C*-Dur-Leiter sind die Töne und ihre Verhältnisse zum Grundton:

c	*d*	*e*	*f*	*g*	*a*	*h*	*c*
1 : 1	9 : 8	5 : 4	4 : 3	3 : 2	5 : 3	15 : 8	2 : 1.

Zwischen diese Töne sind außer der kleinen Terz und der kleinen Sexte noch drei andere Töne eingeschaltet, so daß eine Oktave der Instrumente mit fester Stimmung zwölf Töne umfaßt. Hierdurch wird erreicht, daß sämtliche konsonante Intervalle mit jedem der zwölf Töne als Grundton sich darstellen lassen. Genau ist dies zwar nicht möglich; die Abweichungen von den richtigen Werten der Intervalle, die Verstimmungen, können aber so klein gemacht werden, daß sie kaum merklich sind.

Die Erklärung dieser Tatsachen der Konsonanz und der Dissonanz kann erst im folgenden Kapitel gegeben werden.

Die *Ausdehnung der Tonempfindungen* ist wahrscheinlich eine nicht ganz einfache Erscheinung. Auf den Sinnesgebieten, wo die räumliche Ausdehnung der Empfindungen eine größere Rolle spielt und die Erscheinung sich daher näher untersuchen läßt, finden wir, daß die Ausdehnung durch die Größe der gereizten Fläche des Sinnesorgans bestimmt ist. Die Ausdehnung einer Farbenempfindung wächst unabhängig von der Art und der Stärke des Reizes mit der Größe der gereizten Netzhautfläche. Analoges gilt, wie wir später (S. 328) sehen werden, innerhalb gewisser Grenzen von den Druckempfindungen der Haut. Wird der Druck pro mm² konstant gehalten, so wird auch die Stärke der Druckempfindung konstant, und nur die Ausdehnung der Empfindung wächst mit der Größe der gereizten Fläche. Es ist daher recht wahrscheinlich, daß es sich bei den Tonempfindungen ebenso verhält. Unserer Theorie zufolge wächst die Länge des in Schwingungen versetzten Teils der Basilarmembran mit der Wellenlänge der Schallwellen. Da die Hörzellen aber einigermaßen gleichmäßig über die ganze Membran verteilt sind, so wächst mithin auch die Anzahl der gereizten Nervenfasern mit der Wellenlänge

des Schalles. Geht man also davon aus, daß die Ausdehnung von dieser Anzahl abhängig sei, so steht zu erwarten, daß die Ausdehnung einer Tonempfindung um so größer wird, je geringer ihre Höhe. Eben dies lehrt aber die unmittelbare Erfahrung.

Die hier vertretene Form der Resonanztheorie gibt also eine einfache Erklärung davon, wie die Ausdehnung von der Tonhöhe abhängig ist. Die oben erwähnte Tatsache, daß die Unterschiede der Ausdehnung mit wachsender Entfernung von der Tonquelle kleiner werden, läßt sich aber kaum von der Hörtheorie erklären. Wahrscheinlich ist die Ausdehnung daher noch von anderen Faktoren abhängig, z. B. von der unmittelbaren Einwirkung der Schallwellen auf den Körper. Die direkte Erschütterung, die der Körper durch die Schallwellen in der Nähe der Tonquelle erleidet, und die zweifellos für die Tongefühle von Bedeutung ist (Kap. 47), kann auch sehr wohl dazu beitragen, daß die Ausdehnung der Empfindung deutlicher hervortritt. Da diese Erschütterung natürlich mit wachsender Entfernung von der Tonquelle abnimmt, so wird es erklärlich, warum der Unterschied der Ausdehnung der verschiedenen Töne ebenfalls mit wachsender Entfernung abnimmt, jedoch nie ganz verschwindet.

Die *Intensität* der Gehörsempfindungen ist durch die Energie der Schallwellen bestimmt. Für Momentanschalle, die z. B. durch den Fall einer Stahlkugel auf eine Zinkplatte hervorgebracht werden, läßt sich dies leicht nachweisen. Fällt eine Kugel vom Gewichte p von der konstanten Höhe h, so ist die Bewegungsenergie der Kugel beim Anprall ph, wovon ein unbekannter Bruchteil in Schallenergie umgewandelt wird. Läßt man nun n Kugeln von demselben Gewichte p gleichzeitig von der Höhe h_n fallen, so findet man konstant $ph = nph_n$, wenn die beiden Schalle gleich stark erscheinen. Hieraus geht hervor: *gleich großen Schallenergien derselben Art entsprechen gleich starke Schallempfindungen.* Wenn man aber, statt der n Kugeln vom Gewichte p, eine Kugel vom Gewichte $P = np$ bei dem erwähnten Versuche benutzt, so wird die gefundene Fallhöhe im allgemeinen die Gleichung $ph = Ph_n$ nicht befriedigen, was einfach davon herrührt, daß der Bruchteil der Bewegungsenergie, die in Schallenergie umgewandelt wird, von der Größe der Kugel abhängig ist[1]).

[1]) Lehmann: Elemente der Psychodynamik. S. 60 u. f.

Bei der Umwandlung der Bewegungsenergie in Schallenergie spielen nicht nur die Größe und der Stoff der fallenden Kugeln, sondern auch die Größe und das Material der schallerzeugenden Platte eine wesentliche Rolle. Dies läßt sich sehr leicht zeigen, wenn man die Reizschwelle bestimmt. Die kleinste Energiemenge, die in 10 m Entfernung noch eine merkliche Schallempfindung erregt, wenn Bleikugeln auf verschiedene Platten von 1 mm Dicke herabfallen, schwankt je nach dem Stoff und der Größe der Platten zwischen 16 und 1110 mg mm[1]. Solche Bestimmungen der Reizschwelle, die öfters ausgeführt sind, sind also tatsächlich ganz wertlos, da der in Schallenergie umgewandelte Bruchteil der Bewegungsenergie äußerst variabel und völlig unbekannt ist. Exakte Bestimmungen sind nur auf die Weise zu erreichen, daß man die Schallenergie unmittelbar am Ohr mißt. Auf diese Weise fand Wien für verschiedene Tonhöhen sehr verschiedene Werte[2], nämlich:

Schw.zahl	50	200	800	1600—3200	6400
Energie	$3{,}2 \cdot 10^{-4}$	$1{,}2 \cdot 10^{-8}$	$8{,}0 \cdot 10^{-12}$	$2{,}5 \cdot 10^{-12}$	$8{,}0 \cdot 10^{-12}$ Erg.

Da die Reizschwelle, wie ersichtlich, mit wachsender Tonhöhe abnimmt, so folgt hieraus, daß *gleich großen Schallenergien eine um so größere Empfindungsstärke entspricht, je größer die Schwingungszahl.* Man überzeugt sich leicht hiervon, wenn man eine Sirene oder eine Orgelpfeife mit verschiebbarem Stempel durch einen konstanten Windstrom anbläst; je höher der Ton, um so stärker wird auch die Empfindung, obwohl die Schallenergie konstant ist.

Die erwähnte Tatsache läßt sich als einfache Folge der hier vertretenen Form der Resonanztheorie erklären. Die Theorie setzt nämlich voraus, daß sowohl die Länge als die Breite der Strecke der Basilarmembran, die von einer einfachen Schallwelle in Bewegung gesetzt wird, besonders bei den tieferen Tönen im fast umgekehrten Verhältnis zur Schwingungszahl der Schallwellen wachsen. Das Areal dieser Strecke wächst also im fast umgekehrten Verhältnis zum Quadrate der Schwingungszahlen. Es leuchtet aber ein, daß die Menge Flüssigkeit, die durch die Schwingungen des ovalen

[1]) Hansen und Lehmann: Über unwillkürliches Flüstern. Wundts Phil. Studien. Bd. 11. S. 495.

[2]) Pflügers Archiv. Bd. 97. 1903. S. 1 u. f.

Fensters verschoben wird, bei konstanter physikalischer Schallenergie mit abnehmender Schwingungszahl in weit geringerem Verhältnis wächst. Da mithin die größere Strecke der Basilarmembran einer relativ geringeren Menge Flüssigkeit Platz machen soll, so muß die Amplitude der Schwingungen kleiner werden. Da aber ferner die Stärke der Empfindung durch die Stärke der Nervenerregung und mithin durch die Amplitude der Membranschwingungen bestimmt ist, so heißt dies mit anderen Worten nur, daß die Empfindungsstärke bei konstanter Schallenergie mit abnehmender Schwingungszahl geringer wird. Eben dieses Resultat geht aus den Wien'schen Messungen hervor.

Tabelle 26.

n	leise		mittelstark	
	σ	S	σ	S
128	94,6	12,11		
256			69,08	17,60
384	62,72	24,08	44,5	17,09
512	57,9	29,64	42,74	21,88

Von der *Dauer der Reizung* ist die Tonempfindung in zweifacher Beziehung abhängig, indem sowohl die Qualität als die Intensität der Empfindung mit der Dauer des Reizes variieren. Es wurde schon oben hervorgehoben, daß sehr kurz dauernde Schalle immer einen geräuschartigen Charakter haben; die Entstehung einer geräuschfreien Tonempfindung erfordert also immer ein gewisses Minimum von Schwingungen. Zahlreiche Untersuchungen sind über diese Dauer der *kürzesten Töne* angestellt; die meisten derselben sind aber mit sehr unzweckmäßigen Mitteln durchgeführt, so daß ihren Resultaten kein großer Wert beigelegt werden darf. Am zuverlässigsten sind wohl die Ergebnisse Bode's, die in der Tab. 26 wiedergegeben sind. Hier bedeutet n die Schwingungszahl der angewandten Stimmgabeln, σ die in tausendstel Sekunden angegebene Zeit, die als notwendig für das Entstehen eines reinen, geräuschfreien Tones gefunden wurde; die Anzahl Schwingungen ist dann $S = \frac{n \cdot \sigma}{1000}$. Aus der Tabelle ersieht man, daß *die leisen Töne bei gleicher Tonhöhe n größere Hörzeiten σ und eine größere Anzahl Schwingungen S als die mittelstarken Töne erfordern. Bei gleicher subjektiver Intensität haben die hohen Töne zwar kleinere*

Hörseiten, aber eine größere Anzahl Schwingungen als die tiefen Töne nötig [1]).

Alle diese Tatsachen stimmen sehr gut mit der Resonanztheorie überein. Kommt eine Tonempfindung nur auf die Weise zustande, daß beim Anfang der Erregung die ganze Basilarmembran in mehr oder weniger unregelmäßige Schwingungen versetzt wird, so muß jeder Ton als Geräusch anfangen. Indem aber alle diejenigen Schwingungen gedämpft werden, die der Schwingungszahl der erregenden Schallwelle nicht entsprechen, geht das anfängliche Geräusch in einen Ton über. Diese Dämpfung wird natürlich mehr Zeit beanspruchen, wenn die auf den Ton eingestimmten Teile der Basilarmembran sich am distalen Ende derselben befinden, als wenn sie am proximalen Ende liegen. Im ersteren Falle wird nämlich jede neue Welle die ganze Membran in Bewegung setzen, bis die Schwingung der eingestimmten Teile endlich die nötige Amplitude erreicht hat. Die Hörseiten wachsen daher mit abnehmender Tonhöhe.

Schon im Kap. 14 haben wir gesehen, daß die unmittelbare Wirkung, die ein Reiz auf die empfänglichen Schichten eines Sinnesorgans ausübt, sowohl mit der Reizdauer als mit der Reizstärke wächst und um so früher eine konstante Größe erreicht, je größer die Reizstärke. Daß dieses Gesetz auch für die Tonempfindungen Gültigkeit hat, ist durch die Untersuchungen Kafkas dargetan [2]). Die Methode war zwar nicht völlig befriedigend, es kann jedoch keinem Zweifel unterliegen, daß die Tonempfindung erst schnell, später langsamer ansteigt, und daß das Maximum um so früher erreicht wird, je größer die Reizstärke. Übrigens geht auch aus den oben erwähnten Messungen Bodes hervor, daß eine bestimmte Phase des Ansteigens früher bei größeren als bei kleineren Reizstärken erreicht wird. Kafkas Messungen zeigen ferner, daß das Maximum relativ spät, in 1 bis 2 Sek., erreicht wird; eine Abnahme der Empfindung nach dem Maximum scheint nicht stattzufinden. Mit Sicherheit geht es aus den Messungen nicht hervor, ob anfangs die Erregung der Reizdauer proportional ansteigt; aller Wahrscheinlichkeit nach wird es jedoch während der

[1]) Die Zeitschwellen für Stimmgabeltöne. Wundts Psychol. Studien. Bd. 2. 1907. S. 315.

[2]) Über das Ansteigen der Tonerregung. Wundts Psychol. Studien. Bd. 2. S. 292.

ersten 0,2 Sek. stattfinden. Hierfür sprechen jedenfalls die Untersuchungen von Marbe, der den Nachweis führte, daß das Talbot'sche Gesetz auch für Tonempfindungen gültig ist[1]).

Fünfunddreißigstes Kapitel.

Die Klänge und Geräusche.

Im Vorhergehenden wurde es vorausgesetzt, daß die Reize möglichst einfache Schallwellen, Sinusschwingungen nur einer Periode waren; solche Schwingungen kommen indes nur ausnahmsweise vor. Die Schallwellen sind zumeist komplizierter, indem ein tönender Körper nicht nur als Ganzes schwingt, sondern sich gleichzeitig so teilt, daß die einzelnen Teile selbständige Schwingungen ausführen, deren Schwingungszahlen dann immer größer als die des Ganzen sind. Wird z. B. eine Saite angestrichen, und führt sie als Ganzes n Schwingungen in der Sekunde aus, so kann gleichzeitig jede Hälfte $2n$ Schwingungen vollziehen, außerdem kann aber jedes Drittel $3n$ Mal pro Sekunde schwingen usf. Indem diese verschiedenen Schwingungen auf die Luft übertragen werden, entstehen sehr komplizierte Bewegungen, die sich indes nach dem allgemeinen Prinzip von der Zusammensetzung der Bewegungen durch Summation der Teilschwingungen berechnen lassen. Gehen wir von dem erwähnten Falle aus, wo die Schwingungszahlen der Teilschwingungen ganzzahlige Multipla der der Grundschwingung sind, so erhalten wir der Gleich. 44 analog:

$$y = a \sin 2\pi \frac{t}{T} + b \sin 4\pi \frac{t_1}{T} + c \sin 6\pi \frac{t_2}{T} + \ldots \quad \text{(Gl. 45).}$$

Hier bedeutet y, wie früher, die Entfernung eines Massenpunktes von der Gleichgewichtslage zu einem beliebigen Zeitpunkte, der t, t_1, t_2 usw. Sekunden nach dem Anfang der verschiedenen Schwingungen liegt. Fangen sämtliche Schwingungen in demselben Momente an, so wird $t = t_1 = t_2 \cdots$; dies braucht aber gar nicht der Fall zu sein, denn man kann sehr wohl z. B. $t_1 = t + \frac{T}{8}$ haben, und dann besteht zwischen diesen beiden Bewegungen ein Phasenunterschied von einem Achtel Schwingung. Je nach der Größe der Amplituden a, b, c, $\cdots$ und den Phasen-

[1]) Akustische Prüfung der Tatsachen des Talbot'schen Gesetzes. Pflügers Archiv. Bd. 100. S. 551.

unterschieden der Teilschwingungen können sehr verschiedene Schwingungsformen entstehen.

In der Fig. 52 sind solche verschiedenen Schwingungsformen, die sich nur durch ihre Phasenunterschiede unterscheiden, dargestellt. Sie sind nach der Gleich. 45 konstruiert, indem nur die beiden ersten Glieder, d. h. nur die Grundschwingung und die erste Teilschwingung, berücksichtigt und ferner $b = \frac{a}{2}$ gesetzt worden ist. Setzen wir $t_1 = t$, so er-

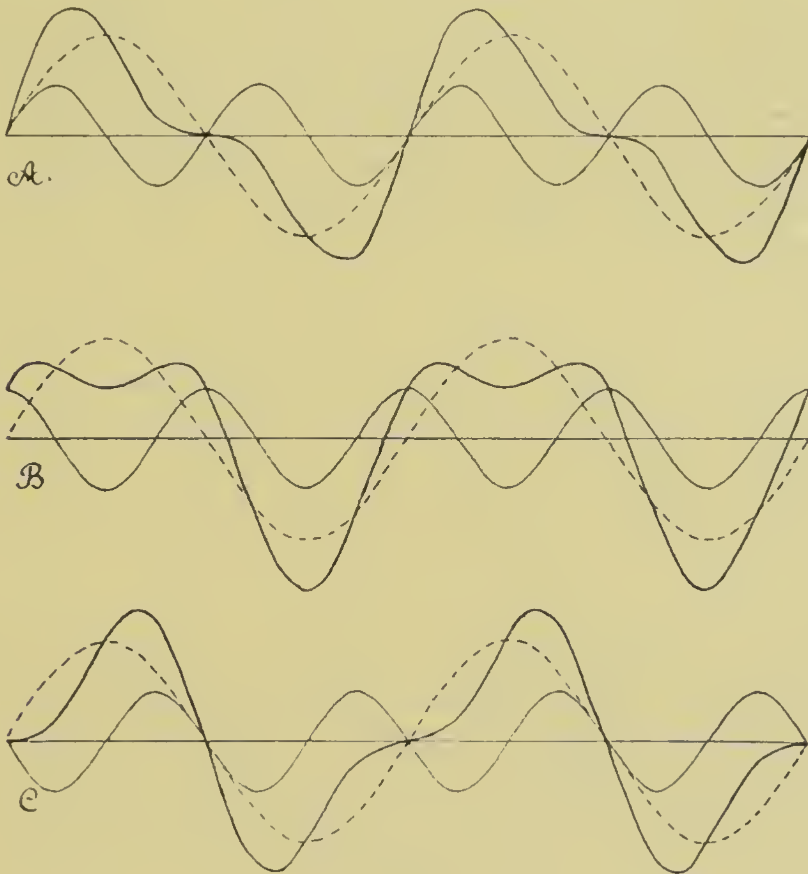


Fig. 52.

halten wir die Fig. 52 A; wird aber $t_1 = t + \frac{T}{8}$ gesetzt, so entsteht die Fig. 52 B, während $t_1 = t + \frac{T}{4}$ die Fig. 52 C ergibt. Schon aus den hier angenommenen, recht einfachen Verhältnissen können also ziemlich verschiedene, komplizierte Bewegungen resultieren.

Wie wir mittels der gegebenen Teilschwingungen die resultierende zusammengesetzte Bewegung konstruieren können, so läßt sich umgekehrt jede beliebige periodische Schwingung in eine Summe von Sinusschwingungen auflösen, deren

Schwingungszahlen ganzzahlige Multipla von der Schwingungszahl der gegebenen Bewegung sind. Diese Auflösung kann zudem nur auf eine ganz bestimmte Weise stattfinden, so daß die Schwingungszahlen, die Amplituden und Phasenunterschiede der Teilschwingungen völlig bestimmt sind. Dieser von Fourier bewiesene Satz hat indes nicht nur mathematisches, sondern auch physikalisches Interesse, indem sämtliche Teilschwingungen, die die Rechnung ergibt, sich durch die physikalische Klangzerlegung als tatsächlich vorhanden nachweisen lassen. Tönt z. B. in der Nähe einer gespannten Saite ein Klang, der als Teilton den Grundton der Saite enthält, so wird die Saite selbst in Schwingungen versetzt und tönt mit. Ebenfalls kann man mittels der Helmholtz'schen Resonatoren aus einem Klang die den einzelnen Teilschwingungen entsprechenden Töne einfach heraushören. Auf diese Weise hat man gefunden, daß *die meisten sogenannten Töne eigentlich nicht Töne, sondern Klänge sind, die außer dem Grundton, der die Tonhöhe des Klanges bestimmt, noch eine größere oder geringere Anzahl Obertöne enthält, deren Schwingungszahlen ganzzahlige Multipla der Schwingungszahl des Grundtons sind.* Ferner hat Helmholtz nachgewiesen, daß die Klangfarbe, die die „Töne" der verschiedenen musikalischen Instrumente charakterisiert, eben durch die Art und Stärke der begleitenden Obertöne bestimmt ist[1]. Außerdem gelang es ihm, Klänge ausgesprochener Klangfarbe, wie z. B. die Vokale, aus Stimmgabeltönen zusammenzusetzen, wodurch also der direkte Beweis für die Entstehung der Klangfarbe durch die Obertöne geliefert wurde. Schließlich wies er auch nach, daß *Phasenunterschiede der Obertöne keinen Einfluß auf die Klangfarbe ausüben.* Seine hierzu angewandte Methode war zwar nicht völlig befriedigend, später ist jedoch von Hermann[2]) und Lindig[3]) auf ganz andere Weise der einwurfsfreie experimentelle Beweis erbracht.

Es wurde schon oben (S. 283) erwähnt, daß das normale musikalische Ohr die Teiltöne aus einem Klange ohne künstliche Vorrichtungen jedenfalls teilweise heraushören kann. Es muß also im Ohr ein Mechanismus vorhanden sein, der die komplizierten Schwingungen des Trommelfells und des

---

[1]) Lehre von den Tonempfindungen. 4. Aufl. 1877. S. 119 u. f.

[2]) Pflügers Archiv. Bd. 56. 1894. S. 467 u. f.

[3]) Über den Einfluß der Phasen auf die Klangfarbe. Diss. Kiel 1902.

ovalen Fensters in die einzelnen Sinusschwingungen zerlegen kann. Wäre dies nicht der Fall, so würde man nur den zusammengesetzten Klang, nie dagegen die einzelnen Teiltöne hören können, weil sie dann nirgends isoliert vorkämen. Das Ohr müßte sich dann genau wie das Auge verhalten, das von einem Gemisch von Farbenstrahlen nur eine resultierende Empfindung erhält und die einzelnen Komponenten aus dem Gemisch nicht heraussehen kann. Eben deshalb nahm Helmholtz an, daß das Ohr einen Resonanzapparat enthielt, ein System verschieden gestimmter Saiten, die von den Teiltönen eines Klanges in je ihre eigentümliche Schwingung versetzt werden konnten. Oben, S. 276, haben wir gesehen, daß eine wie die Basilarmembran gespannte Membran von einfachen Sinusschwingungen nur lokal zum Mitschwingen gebracht werden kann. Eine kompliziertere Schwingung wird daher gleichzeitig ebenso viele Teile der Basilarmembran in verschiedene Schwingungen versetzen, wie sie Teiltöne enthält. Da jeder dieser verschieden schwingenden Teile eine besondere, der Schwingungszahl entsprechende Tonempfindung hervorruft, so wird es also möglich, aus dem Zusammenklang die Teiltöne herauszuhören.

Die Theorie ist somit imstande, zu erklären, wie das normale Ohr zusammengesetzte Schwingungen zu zerlegen vermag. Sie kann aber außerdem die großen individuellen Unterschiede dieses Vermögens erklären. Wie wir gesehen haben, ist die Abstimmung der Basilarmembran besonders von der Spannung in der Querrichtung abhängig. Während eine gespannte Membran nur auf der Strecke mittönt, deren Eigenschwingungen der Schwingungszahl der Schallwelle entsprechen, kann eine schlaffe Membran fast in ihrer ganzen Länge von jeder beliebigen Schallwelle in Schwingungen versetzt werden. Die Fähigkeit, zusammengesetzte Schwingungen in einfache Sinusschwingungen zu zerlegen, ist also von der Querspannung der Basilarmembran abhängig, womit die Möglichkeit großer individueller Unterschiede gegeben ist. Das feine musikalische Ohr ist mit einer optimal gespannten Membran ausgestattet. Völlig schlaff kann die Membran jedoch nicht einmal bei den Tonanomalen sein, weil diese erstens einen Zusammenklang genügend verschiedener Töne zerlegen, und zweitens die verschiedene Ausdehnung hoher und tiefer Töne auffassen können. Wäre die Membran aber ganz schlaff, so würde sie stets in ihrer ganzen Länge von jeder beliebigen Schallwelle in Be-

wegung gesetzt werden, und jede Unterscheidung gleichzeitiger Töne sowie der verschiedenen Ausdehnung hoher und tiefer Töne würde damit aufgehoben sein. Die individuell verschiedene Fähigkeit der Tonanalyse können wir somit auf die verschiedene Spannung der Basilarmembran zurückführen.

Die psychischen Eigentümlichkeiten der *Geräusche* wurden schon oben erwähnt; es handelt sich jetzt darum, durch welche Reize diese Empfindungen oder Wahrnehmungen zustande kommen[1]. Sind die Geräusche wie die Klänge aus Tönen zusammengesetzt, oder liegen hier Reize besonderer Art vor? Zunächst kann kein Zweifel darüber bestehen, daß sich Geräusche aus Tönen zusammensetzen lassen. Wird eine größere Anzahl einander nahe liegender Töne gleichzeitig, z. B. am Klaviere, angeschlagen, so entsteht ein Geräusch. Ebenfalls entstehen Geräusche, wenn einfache Töne von unregelmäßig wechselnder Tonhöhe sehr schnell aufeinander folgen, was sich z. B. auf die Weise nachweisen läßt, daß der Stempel einer gedeckten Orgelpfeife während des Anblasens sehr schnell hin und her geschoben wird. Obgleich aber sehr komplizierte Klangmassen und schnell wechselnde Töne Geräuschempfindungen erregen, brauchen deshalb nicht alle Geräusche in Sinusschwingungen zerlegt werden zu können. Es ist nicht nur möglich, sondern sogar wahrscheinlich, daß viele Geräusche durch aperiodische Schwingungen entstehen, die sich in Sinusschwingungen nicht zerlegen lassen. Die unaufhörlichen Veränderungen, denen viele Geräusche unterliegen, und wodurch sie eben charakterisiert sind, machen eine solche Annahme sehr wahrscheinlich. Die physikalische Analyse solcher Schallwellen mittels Resonatoren hat jedenfalls bis jetzt diese Annahme nicht widerlegt; es ist kaum möglich, darzutun, daß die durch diese übrigens sehr schwierige Analyse gefundenen Teiltöne allein ausreichen, um das Geräusch hervorzubringen. Wir können daher feststellen, daß *Geräusche durch zahlreiche, gleichzeitige oder unregelmäßig wechselnde, schnell aufeinander folgende Töne entstehen können, daß aber wahrscheinlich auch aperiodische Schwingungen entweder allein oder in Verbindung mit Klangmassen Geräuschempfindungen erregen.*

Viel umstritten ist die Frage, ob die Geräuschempfindungen durch die Schnecke vermittelt werden. Weil das Ohr zusammen-

[1]) Stumpf: Tonpsychologie. Bd. 2. S. 497 u. f. M. Meyer, Zeitschrift für Psychologie. Bd. 31. S. 233 u. f.

gesetzte Schallwellen in Sinusschwingungen zerlegen kann, so ist eigentlich zu erwarten, daß die Geräusche sich auch in Töne zerlegen lassen. Dies ist aber im allgemeinen nicht möglich, von den besonderen Fällen abgesehen, wo einzelne Töne sich aus den Geräuschen heraushören lassen. Es ist daher oft die Annahme aufgestellt, daß es ein besonderes Organ zum Auffassen der Geräusche gäbe. Eine solche Hypothese ist jedoch überflüssig, indem eine ganze Reihe von Umständen sich der Zerlegbarkeit der Geräusche widersetzt.

Erstens kann eine zusammengesetzte Bewegung nur dann in Sinusschwingungen zerlegt werden, wenn sie periodisch ist. Sehr viele Geräusche werden aber, wie erwähnt, wahrscheinlich durch aperiodische Bewegungen erregt, die die Basilarmembran nur in unregelmäßige Schwingungen versetzen können. Solche Bewegungen sind nach unserer Auffassung der Membranschwingungen sehr wohl möglich, weil jede Verschiebung der Perilymphe des Vorhofes eine Schwingung der Basilarmembran herbeiführen muß. Nach der Helmholtz'schen Auffassung konnten die Fasern der Membran nur durch Sinusschwingungen erregt werden, und unregelmäßige Schwingungen der Membran waren mithin kaum anzunehmen; eben deshalb wäre entweder ein besonderes Geräuschorgan erforderlich, oder sämtliche Geräusche müßten von Sinusschwingungen zusammengesetzt sein. Zweitens können Sinusschwingungen nur dann als Töne aufgefaßt werden, wenn sie eine gewisse Dauer haben (vgl. S. 292). Solche Geräusche, deren Schwankungen eine gewisse Regelmäßigkeit darbieten und daher periodische Schwingungen vermuten lassen, können also nicht als Töne gehört werden, wenn die regelmäßigen, periodischen Schwankungen nicht genügend lange dauern. Schließlich kommt hierzu noch die große Komplikation der Geräusche. Enthält ein Geräusch zahlreiche Töne, deren Schwingungszahlen nur wenig verschieden sind, so resultieren aus dem Zusammenklang die sekundären Klangerscheinungen, die sogleich im folgenden erörtert werden. Hierdurch wird die Komplikation noch größer, und die Analyse unter gewissen Umständen unmöglich.

Sechsunddreißigstes Kapitel.
Die sekundären Klangerscheinungen.

Die Schwebungen. Bisher haben wir den Zusammenklang nur solcher Töne betrachtet, deren Schwingungszahlen ganz-

zahlige Multipla der des Grundtons waren. Liegt ein so einfaches Verhältnis zwischen den Schwingungszahlen der gleichzeitigen Töne, der Primärtöne, nicht vor, dann entstehen neue, sogenannte *sekundäre* Erscheinungen. Sind die Schwingungszahlen der Primärtöne nur wenig voneinander verschieden, dann hört man, wie die Töne periodisch an Stärke zu- und wieder abnehmen. Man kann diese periodische Stärkevariation, die Schwebung, noch dann beobachten, wenn die Periode 10—20 Sek. dauert. Besonders deutlich wird sie aber, wenn 3—6 Schwebungen in der Sekunde vorkommen; man kann sie dann leicht zählen und dadurch feststellen, daß die Anzahl der Schwebungen pro Sekunde gleich der Differenz der Schwingungszahlen der Primärtöne ist. Wenn die Schwebungen noch zahlreicher werden, hört man sie nur als ein Rollen, eine Rauhigkeit der Töne, bis sie schließlich bei wachsender Anzahl unmerklich werden. Diese obere Grenze der Wahrnehmbarkeit der Schwebungen liegt um so höher, je höher die Primärtöne sind. Bei den tieferen Tönen liegt die Grenze um 40 Stöße, bei den höchsten in der Musik anwendbaren Tönen um 400 Stöße in der Sekunde.

Die erwähnten Erscheinungen können ohne Schwierigkeit auch von den Tonanomalen beobachtet werden, weil es sich hier nur um Stärkevariationen handelt. Ein feines musikalisches Ohr bemerkt aber, daß es eigentlich gar nicht die Primärtöne sind, welche schweben, daß sich dagegen ein sogenannter *Zwischenton* bildet, dessen Höhe zwischen der der Primärtöne liegt [1]). Ist die Differenz der Primärtöne nur gering, so hört man überhaupt nur den Zwischenton; bei wachsendem Unterschiede der Primärtöne treten sie neben dem Zwischenton hervor, bis dieser letztere schließlich unmerklich wird, wenn das Intervall der Primärtöne etwa eine kleine Terz ist [2]). Es ist der Zwischenton, der den Stärkevariationen unterworfen ist, und hierdurch wird die ganze Erscheinung physiologisch erklärlich.

Vom physikalischen Gesichtspunkte aus ist die Sache sehr einfach. Fangen wir mit dem Falle an, wo die Schwingungszahlen der Primärtöne n und $n + 1$ sind, und wo die Schwingungen gleichzeitig mit derselben Phase beginnen. Die Ampli-

---

[1]) Stumpf: Tonpsychologie. Bd. 2. S. 480 u. f.

[2]) Krueger: Differenztöne und Konsonanz. Wundts Psychol. Studien. Bd. 2. S. 15 u. f.

tude der Schallwelle wird dann anfangs, wo die beiden Bewegungen in derselben Richtung gehen, gleich der Summe der Amplituden der Primärtöne. Nach dem Verlauf einer halben Sekunde hat dann der eine Ton $\frac{n}{2}$, der andere Ton $\frac{n}{2}+\frac{1}{2}$ Schwingungen gemacht; der Phasenunterschied ist gleich einer halben Schwingung, so daß die Amplitude der Bewegung jetzt gleich der Differenz der Amplituden der Primärtöne ist. Die Schallenergie, die die Empfindungsstärke bestimmt, ist aber der Größe $(an)^2$ proportional, wo a die Amplitude der Wellenbewegung bedeutet [1]). Die Schallenergie hat somit anfangs ein Maximum, nach dem Verlauf einer halben Sekunde ein Minimum, und dann, eine halbe Sekunde später, abermals ein Maximum, wenn die Schwingungen wieder dieselbe Phase haben. Wir finden also, daß die Schallstärke ein Mal in der Sekunde ab- und wieder zunimmt, wenn die

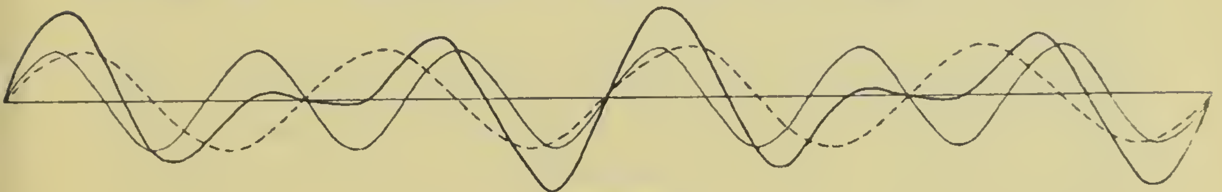


Fig. 53.

Differenz der Schwingungszahlen $(n+1)-n=1$ ist. Ist diese Differenz dagegen n', so muß sich die Schwankung der Intensität ein Mal in $\frac{1}{n'}$ Sek., oder n' Mal in der Sekunde wiederholen, was eben dem experimentell Gefundenen entspricht. Fig. 53 stellt die Kurve dar, die durch Interferenz zweier Wellen von 4, resp. 6 Schwingungen entsteht; da 2 die Differenz der Schwingungszahlen ist, hat die Interferenzkurve 2 Maxima und 2 Minima.

Die durch Interferenz zweier Töne entstandene Schallwelle hat also so viele Maxima oder Minima der Amplitude, wie die Differenz der Schwingungszahlen der Primärtöne angibt. Dies würde aber nicht ausreichen, um die psychische Erscheinung, die Schwebungen oder Stöße der Töne, hervorzubringen, wenn der Resonanzapparat der Schnecke die Interferenzwelle in die Primärtöne wieder zerlegte. Dann

---

[1]) Riecke: Lehrbuch der Experimentalphysik. Leipzig 1896. Bd. 1. S. 239.

würden die beiden Primärtöne einfach nebeneinander ohne jegliche Interferenzwirkung gehört werden. Es muß also auch eine Interferenz der Schwingungen der Basilarmembran stattfinden, und daß eine solche Wirkung tatsächlich vorkommt, läßt sich aus dem Auftreten des Zwischentones folgern. Sind die Primärtöne nur wenig verschieden, so wird, wie erwähnt, nur dieser Ton gehört, was beweist, daß die Schwingungen der Basilarmembran so ineinander greifen, daß nur eine resultierende Bewegung zustande kommt, die keinem der beiden Primärtöne entspricht, aber die Maxima und Minima der Wellenbewegung wiedergibt. Bei größerer Differenz der Schwingungszahlen werden die Primärtöne zwar gehört, die betreffenden Schwingungen der Basilarmembran greifen aber noch so ineinander ein, daß der Zwischenton neben den Primärtönen entsteht und Träger der Schwebungen wird.

Da die Schwebungen von der Bildung eines Zwischentones abhängig sind, und solche Zwischentöne bei den Tonanomalen in weit größerer Ausdehnung als bei den Normalen vorkommen, so wäre wohl zu erwarten, daß die Tonanomalen Schwebungen bei Intervallen heraushören könnten, wo sie den Normalen schon entschwunden sind. Ob sie wirklich vorkommen, ist aber schwer zu entscheiden. Bei größeren Intervallen treten nämlich die gleich zu besprechenden Kombinationstöne auf, die mit den Primärtönen schweben können, und weil die Tonanomalen außerstande sind, diese Komplexe zu analysieren, können sie auch nicht angeben, welche Töne die schwebenden sind.

Die Kombinationstöne. Wenn die Differenz der Schwingungszahlen zweier Primärtöne eine gewisse Grenze überschreitet, tritt neben den Primärtönen ein Ton hervor, dessen Schwingungszahl die Differenz derjenigen der Primärtöne ist. Dieser Ton, den man daher den *Differenzton* nennt, verhält sich ebenso wie die Primärtöne, so daß er mit den letzteren Differenztöne höherer Ordnung bilden kann, die dann ihrerseits miteinander oder mit den Primärtönen wiederum neue Differenztöne hervorbringen können. Auf diese Weise ist, je nach den Schwingungszahlen der Primärtöne, die Möglichkeit einer sehr großen Anzahl Differenztöne gegeben, die jedoch keineswegs alle hörbar sind. Nach den Untersuchungen Kruegers hört man unter günstigen Umständen, beim Zusammenklang zwei annähernd gleichstarker Töne von mittlerer Höhenlage (200 bis 1500 Schwingungen), höchstens fünf Differenz-

töne. Die Tonhöhe dieser Differenztöne sind derart zu berechnen, daß man erst die Schwingungszahlen der Primärtöne und dann fortgesetzt die beiden kleinsten Schwingungszahlen voneinander subtrahiert[1]). So entstehen z. B. beim Zusammenklang der Töne $h = 1328$ und $t = 1024$ die Differenztöne $D_1 = h - t = 304$; $D_2 = t - D_1 = 2t - h = 720$; $D_3 = D_2 - D_1 = 3t - 2h = 416$; $D_4 = D_3 - D_1 = 4t - 3h = 112$; $D_5 = D_1 - D_4 = 4h - 5t = 192$.

Außer den erwähnten Differenztönen tritt noch ein schwieriger zu beobachtender Summationston hervor, dessen Schwingungszahl die Summe, $h+t$, der Schwingungszahlen der Primärtöne ist. Dieser Summationston fällt mit dem Differenzton zusammen, der von dem Differenzton erster Ordnung $D_1 = h - t$ mit dem ersten Oberton des höheren Primärtons, $2h$, gebildet wird: $2h - D_1 = 2h - (h - t) = h + t$. Es ist daher oft behauptet worden, daß der Summationston nur ein Differenzton des Obertons wäre; da der Summationston aber auch dann gehört wird, wenn alle Obertöne ausgeschlossen sind[2]), muß er unabhängig von den Obertönen zustande kommen können.

Alle erwähnten Kombinationstöne, wie die Differenz- und Summationstöne insgesamt genannt werden, können sowohl subjektiv als objektiv sein. Als objektive, außerhalb des Ohres existierende Töne kommen sie nur dann vor, wenn die Primärtöne durch Anblasen der Tongeber aus einem gemeinsamen Windraume oder durch gleichzeitige Schwingungen desselben festen Körpers erzeugt werden. Das erstere findet bei der Doppelsirene und dem Harmonium, das letztere bei Telephonmembranen statt[3]). Die objektive Existenz der unter diesen Umständen erzeugten Kombinationstöne läßt sich dadurch beweisen, daß die Töne Resonatoren zum Mittönen bringen können. In allen anderen Fällen, wo dieselben Kombinationstöne hörbar werden, müssen sie im Ohre entstehen, also subjektiv sein, da mittels Resonatoren keine Spur einer objektiven Existenz nachweisbar ist. Da die Unter-

---

[1]) Beobachtungen an Zweiklängen. Wundts Phil. Studien. Bd. 16. S. 307 u. f. Zur Theorie der Kombinationstöne. Wundts Phil. Studien. Bd. 17. S. 185 u. f.

[2]) Krueger, a. a. O. Bd. 17. S. 273 u. f.

[3]) Helmholtz: Lehre von der Tonempfindung. Beilage 16. Schaefer: Über die Erzeugung phys. Kombinationstöne. Ann. der Physik. Neue Folge. 17. 1905.

suchungen Schaefers aber dargetan haben, daß Telephonmembranen, die von zwei gleichzeitigen Tönen erregt werden, Kombinationstöne hervorbringen, so wird aller Wahrscheinlichkeit nach das von zwei isolierten Tönen erregte Trommelfell, oder das ovale Fenster, in analoge Schwingungen versetzt. Die subjektiven Kombinationstöne haben also zweifellos hier ihren Ursprung.

Das Entstehen der Kombinationstöne, sei es als subjektive, sei es als objektive Töne, erklärt einige der wesentlichsten Eigentümlichkeiten konsonanter und dissonanter Intervalle. Die konsonanten Intervalle können, wie leicht ersichtlich, nur eine geringe Anzahl Differenztöne erzeugen, und um so weniger, je größer die Konsonanz. So ergibt die Oktave, 2:1, nur einen Differenzton, 2 — 1 = 1, der mit dem tiefsten der Primärtöne zusammenfällt. Die Quinte, 3:2, ergibt einen selbständigen Differenzton, 3 — 2 = 1, während nach der Krueger'schen Regel die Quarte und große Sexte 2, die große Terz und die kleine Sexte 3 und die kleine Terz 4 Differenztöne haben. Die Differenztöne der konsonanten Intervalle stehen außerdem immer in einem konsonanten Verhältnis zueinander. Die vier Differenztöne der kleinen Terz: 6 — 5 = 1, 5 — 1 = 4, 4 — 1 = 3 und 3 — 1 = 2, verhalten sich nur wie Obertöne zu dem gemeinsamen Grundton 1, der außerdem besonders stark hervortritt, indem die Differenztöne 5 — 4 = 1, 4 — 3 = 1 und 3 — 2 = 1 dazu beitragen, den tiefsten „charakteristischen" Differenzton zu verstärken.

Im Gegensatz zu diesen einfachen Verhältnissen der konsonanten Intervalle stehen die komplizierteren der dissonanten. Diese geben erstens eine größere Anzahl Differenztöne, und zweitens besteht kein einfaches Verhältnis zwischen den Differenztönen. Wir sahen z. B. oben, wie die verstimmte Terz 1328:1024 = 83:64 (statt 80:64) die Differenztöne 720, 416, 304, 192 und 112 erzeugen, die sich wie 45:26:19:12:7 verhalten. Außerdem entstehen aber zweifellos noch mehr Differenztöne, die nicht selbständig hervortreten, sondern mit den andern schwebende Zwischentöne bilden. Der Differenzton 45 — 12 = 33 liegt schon dem Ton 26, der Differenzton 33 — 12 = 21 dem Ton 19 so nahe, daß eine Zwischentonverschmelzung wohl stattfinden muß. *Wir finden also einerseits um so weniger Differenztöne, je konsonanter das Intervall, und zwischen diesen Differenztönen ein einfaches Verhältnis, andererseits bei den dissonanten Intervallen zahlreiche*

Differenztöne, die in komplizierten Verhältnissen zueinander stehen und teilweise sich so nähern, daß sie zu Zwischentönen verschmelzen. Der klare, einheitliche Eindruck der konsonanten, der verworrene, mehrheitliche Eindruck der dissonanten Intervalle sind zweifellos die einfache Folge dieses Unterschiedes [1]). Auf die verschiedene Gefühlswirkung, die Annehmlichkeit der Konsonanzen und die Unannehmlichkeit der Dissonanzen, können wir hier nicht eingehen.

Es muß jedoch hervorgehoben werden, daß Stumpf [2]) wesentliche Einwände gegen die Krueger'sche Konsonanztheorie erhoben hat, so daß das Problem der Konsonanz noch nicht endgültig gelöst ist.

Die Ursache des Unterschiedes zwischen Konsonanz und Dissonanz scheint hiernach noch eine offene Frage zu sein. Eine Erklärung der Tatsache dagegen, daß die Tonanomalen diesen Unterschied gar nicht auffassen, kann uns keine größeren Schwierigkeiten bereiten, wenn wir von der hier vertretenen Form der Resonanztheorie ausgehen. Wir sahen schon oben, wie die Schlaffheit der Basilarmembran des tonanomalen Ohres zur Folge haben muß, daß ein beliebiger Ton immer eine größere Strecke der Membran in Schwingungen versetzt. Aus zwei gleichzeitig erklingenden Tönen resultiert daher wahrscheinlich stets ein unzerlegbarer Klang, wenn der Unterschied der Töne nicht sehr groß ist, d. h. mehrere Oktaven beträgt. Während im normalen Ohr ein Zwischenton sich nur dann bildet, wenn die Differenz der Töne kleiner als eine Terz ist, entstehen aller Wahrscheinlichkeit nach im tonanomalen Ohr Zwischentöne schon bei Oktaven oder noch größeren Intervallen. Dadurch verschwindet selbstverständlich der Unterschied zwischen Konsonanz und Dissonanz im gewöhnlichen musikalischen Sinne, weil innerhalb der Grenzen der musikalischen Intervalle zwei gleichzeitige Töne nur als ein Klang, nicht aber als ein Zusammenklang zweier Töne aufgefaßt werden.

Findet wirklich, wie wir angenommen haben, bei den Tonanomalen die Bildung eines Zwischentones schon zwischen Oktaven oder noch größeren Intervallen statt, so ist also

[1]) Krueger: Differenztöne und Konsonanz. Archiv für Psychologie. Bd. 2. S. 36.

[2]) Beobachtungen über Kombinationstöne. Zeitschrift für Psychologie. Bd. 55. S. 73 u. f.

damit die Analyse solcher gleichzeitigen Töne ausgeschlossen. Stellt man einem Tonanomalen die Aufgabe, verschiedene, nicht zu große Intervalle zu analysieren, und nur dann zwei Töne anzugeben, wenn er wirklich die beiden Töne aus dem Zusammenklang herausgehört hat, so wird der gewissenhafte Beobachter 100 % „falsche" Urteile abgeben, weil er des Analysierens völlig unfähig ist und mithin nie die beiden Töne heraushören kann. Läßt man ihn aber nur nach dem Gesamteindruck entscheiden, ob „ein" Ton oder „zwei" Töne vorliegen, so wird er gewöhnlich die ausgesprochenen Dissonanzen (wegen der zahlreicheren Differenztöne?) etwas komplizierter als die Konsonanzen empfinden und daher die ersteren relativ häufig als zwei Töne beurteilen. Zwischen den verschiedenen Konsonanzen aber besteht kein merklicher Unterschied, und es ist zunächst zufällig, ob er sie als 1 oder 2 Töne bezeichnet. Aus einer größeren Anzahl Versuchen ergeben sich daher durchweg 50 % falsche Urteile in betreff der Zusammensetzung konsonanter Intervalle. Diese einfachen Konsequenzen unserer theoretischen Auffassung werden von der Erfahrung völlig bestätigt. Bei den umfassenden Versuchen Buchs hat der tonanomale A. L. eben das erwähnte Resultat ergeben, während E. H. sich demselben stark nähert[1]).

Die musikalischen dagegen kommen bei solchen Versuchen zu ganz anderen Resultaten. Da die Oktaven und Quinten einfacher sind als die übrigen Konsonanzen, so werden sie, nach dem Gesamteindruck beurteilt, fast immer als ein Ton aufgefaßt; 100 % falsche Urteile kommen hier oft vor. Die übrigen Konsonanzen werden nur selten falsch beurteilt, und die Dissonanzen fast nie. Stellt man dagegen dem Musikalischen die Aufgabe, die verschiedenen Intervalle zu analysieren und nach der Analyse zu beurteilen, so ergeben sich andere Resultate. Sich sehr nahe liegende Töne, die äußerst dissonant sind, können überhaupt nicht analysiert werden, weil sie zu Zwischentönen verschmelzen; in solchen Fällen müssen also 100 % falsche Urteile abgegeben werden. Bei größerer Differenz der Töne, wo eine Zwischentonverschmelzung nicht stattfindet, wird die vollständige Analyse dissonanter

[1]) Buch: Om Fornemmelsers Sammensmeltning. Kbhn. 1898. Tab. X. Über die Verschmelzung von Empfindungen. Wundts Phil. Studien. Bd. 15. Tab. X. S. 275.

Intervalle durch die zahlreichen Differenztöne erschwert. Begnügt man sich aber mit einer unvollständigen Analyse, so können die Primärtöne unschwer herausgehört werden, und die dissonanten Intervalle werden daher zumeist als zwei Töne bezeichnet, und dasselbe gilt auch von den weniger vollkommenen Konsonanzen, die sich relativ leicht vollständig analysieren lassen. Die vollkommenen Konsonanzen, die Oktaven und durchweg auch die Quinten, haben aber einen so einheitlichen Charakter, daß sie nur wenig Anlaß zum Versuch einer Analyse geben. Sie werden daher oft als ein Ton beurteilt, obwohl die Analyse, wenn sie versucht wird, keine besondere Schwierigkeit darbietet[1]).

Die größere oder geringere Verschmelzung der Intervalle, nach der Schwierigkeit der Analyse gemessen, ist also von mehreren, teils physiologischen, teils psychischen Faktoren — der Bildung eines Zwischentons, der Anzahl der Differenztöne, dem unmittelbaren einheitlichen Eindruck — abhängig. Die Hypothese Stumpfs, die Annahme einer besonderen zentralen „Verschmelzung", wodurch nicht nur die verschiedene Schwierigkeit der Analyse, sondern auch Konsonanz und Dissonanz erklärt werden, ist daher kaum wahrscheinlich.

III. Die Geruchs- und Geschmacksempfindungen.

Siebenunddreißigstes Kapitel.

Die Geruchsempfindungen.

Das Geruchsorgan befindet sich ganz oben in der Nase, an den sogenannten oberen Muscheln und dem ihnen gegenüberliegenden Teil der Nasenscheidewand, wo die Nasenhöhle zu einer schmalen Spalte verengt ist. Es hat beim Menschen nur eine geringe Ausdehnung, etwa 5 cm^2, und unterscheidet sich von den übrigen Teilen der Nasenschleimhaut durch seine graue oder braune Färbung. Der eingeatmete Luftstrom, der die als Geruchsreize dienenden gasförmigen Stoffe enthält, geht nicht durch die Riechspalte, sondern biegt unterhalb der mittleren Muschel bogenförmig ab; die Geruchsreize können

---

[1]) Krueger: Differenztöne und Konsonanz. Archiv für Psychologie. Bd. 2. S. 73 u. f.

daher nur durch Diffusion in die Riechspalte hinein gelangen.

Der Bau des Organs ist sehr einfach. Zwischen den zylindrischen Stützzellen des Epithels der Riechschleimhaut liegen die Nervenzellen, Riechzellen, eingebettet, aus welchen die Fasern des Riechnerven entspringen. Es finden sich hier keine Apparate, um die direkte Wirkung der Geruchsreize umzuwandeln; die gasförmigen Stoffe erregen daher wahrscheinlich den Geruchsnerven direkt durch ihre chemische Einwirkung. Außer den Fasern des eigentlichen Geruchsnerven (n. olfactorius) kommen im Geruchsorgan, so wie an den Wänden der ganzen Nasenhöhle, Fasern des Trigeminus vor. Dieser Nerv vermittelt wohl zunächst die Druck- und Temperaturempfindungen der Nase; es ist jedoch nicht völlig ausgeschlossen, daß er am Riechakt nicht beteiligt sei. Gewisse pathologische Erfahrungen zeigen nämlich, wie der Geruchssinn durch Verletzung bestimmter Trigeminusäste herabgesetzt werden kann, was sich nur dadurch erklären läßt, daß sich die Geruchserregungen auch durch Trigeminusbahnen in die Geruchssphäre des Großhirns fortpflanzen können.

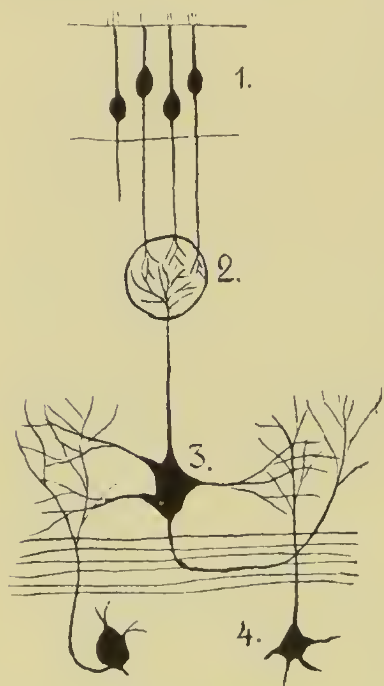


Fig. 54.
Schema des zentralen Riechnervenverlaufs (nach Henle).

Die von den Riechzellen (Fig. 54, *1*) ausgehenden Fasern, die den n. olfactorius bilden, treten in den Bulbus olfactorius ein, wo ihre Endbäumchen mit den Dendritten eines anderen Neurons, die *Mitralzelle*, *3*, in Verbindung treten. Die Endbäumchen der Riechzellen und die Dendritten der Mitralzellen flechten sich zu kleinen kugeligen Körpern, *Glomeruli*, *2*, zusammen. In jeden Glomerulus treten die Fasern mehrerer Riechzellen hinein, und andererseits kann auch eine Mitralzelle durch Verzweigung ihrer Fasern mit mehreren Glomeruli in Verbindung treten. Eine lokal sehr begrenzte Reizung der Riechschleimhaut kann auf diese Weise eine große Anzahl Mitralzellen erregen. Von den Mitralzellen pflanzt sich die Erregung erst auf eine Schicht kleinerer Zellen, *4*, und von diesen in die Riechsphäre im Gyrus Hippocampi fort.

Die Anzahl der *Geruchsempfindungen* ist außerordentlich

groß, indem nicht nur alle flüchtigen Stoffe je ihren spezifischen Geruch haben, sondern auch durch Kombination verschiedener Stoffe neue Gerüche entstehen können, die oft dem Geruch der einzelnen gemischten Stoffe sehr unähnlich sind. Kleine Veränderungen der Kombinationen rufen zumal oft recht erhebliche Unterschiede der erregten Empfindungen hervor, und auf diese Weise entstehen die den einzelnen Individuen, sei es Menschen oder Tieren, anhaftenden eigentümlichen Gerüche. Dieser Mannigfaltigkeit gegenüber stehen wir ganz hilflos; es ist bis jetzt nicht einmal gelungen, die Andeutung eines Systems ausfindig zu machen, worin sich die Geruchsempfindungen einfügen lassen. In dieser Beziehung ist es sehr bezeichnend, daß wir keine besonderen Namen für bestimmte, charakteristische Gerüche haben; die Benennung eines Geruchs kann nur durch die Angabe des betreffenden Riechstoffes stattfinden. Eine Einteilung der Gerüche wird daher vorläufig nur eine Einteilung der riechenden Substanzen nach der Ähnlichkeit ihrer Gerüche, wie es z. B. bei der von Linné zuerst aufgestellten, von Zwaardemaker erweiterten Klassifikation der Fall ist[1]). Das System hat neun Gruppen, nämlich: 1. ätherische, 2. aromatische, 3. balsamische, 4. ambrosische (Amber-Moschus), 5. lauchartige (Allyl, Cacodyll), 6. brenzliche, 7. bockähnliche (Capryl), 8. widerliche und 9. ekelhafte Gerüche. Dies System ist jedoch, wie ersichtlich, nichts weniger als logisch, weil die sieben ersten Gruppen nach der Ähnlichkeit der Geruchsempfindungen, die beiden letzten Gruppen nach der emotionellen Wirkung der Gerüche eingeteilt sind. Logisch konsequenter ist zwar die Einteilung Gießlers nach den physiologischen und psychischen Begleiterscheinungen der Gerüche[2]); die Eigentümlichkeiten der Geruchsempfindungen werden aber hierbei noch weniger berücksichtigt.

Die *Eigenschaften der Riechstoffe*, die ihre eigentümlichen Gerüche bedingen, kennen wir noch gar nicht. Um überhaupt das Geruchsorgan reizen zu können, müssen die Stoffe unter normalen Umständen gasförmig sein. Man kann zwar auch Geruchsempfindungen durch Flüssigkeiten hervorrufen, wenn man die Nase des hintenüber gebeugten Kopfes mit einer 40° C. warmen physiologischen Kochsalzlösung füllt, worin kleine

[1]) Physiologie des Geruchs. Leipzig 1895.

[2]) Wegweiser zu einer Psychologie des Geruchs. Hamburg 1894.

Mengen eines Riechstoffes aufgelöst sind. Auf diese Weise können auch sonst geruchlose Flüssigkeiten (Magnesiumsulfat, Natriumphosphat) Geruchsempfindungen erregen. Eine solche Reizung kommt aber nur bei experimentellen Untersuchungen vor; unter normalen Umständen dienen nur gasförmige Substanzen als Riechstoffe.

Von den Grundstoffen haben nur Chlor, Brom und Jod einen Geruch, und die Elemente, deren Verbindungen Riechstoffe sind, kommen fast ausschließlich in der fünften, sechsten und siebenten Gruppe des periodischen chemischen Systems vor. In der fünften Gruppe finden sich: Stickstoff, Phosphor, Vanadium, Arsen, Niobium, Antimon und Wismuth; in der sechsten Gruppe: Sauerstoff, Schwefel, Chrom, Selen, Molybdän, Tellur, Wolfram und Uran; in der siebenten Gruppe: Fluor, Chlor, Mangan, Brom und Jod. Hierzu kommen noch zahlreiche, sogenannte organische Kohlenstoffverbindungen. Die homologen Reihen dieser Verbindungen, z. B. die Reihen der Alkohole, der Fettsäuren, der Alkylbenzole usw., haben Gerüche, die sich ähnlich sind, und die oft mit wachsendem Molekulargewicht intensiver werden; die höchsten Glieder der Reihen sind jedoch gewöhnlich geruchlos.

Von der *Intensität der Reize* ist nicht nur die Stärke, sondern in vielen Fällen auch die Art der Empfindung abhängig. Um eine genaue Variation der Reizstärke zu erzielen, bedient man sich am besten der Methode Passys[1]. Es werden Lösungen der Riechstoffe von bekanntem Gehalt hergestellt, und ein Tröpfchen einer solchen Lösung läßt man in einer Literflasche verdampfen; man kann dann leicht die Gewichtsmenge des Riechstoffes pro Liter Luft berechnen. Sucht man auf diese Weise die Schwellenwerte der verschiedenen Riechstoffe, ergeben sich äußerst geringe Gewichtsgrößen. Von Kampfer genügt schon 5 μgr (tausendstel Milligramm), von Vanillin sogar nur 0,0005 μgr, um eine eben merkliche Geruchsempfindung zu erregen, und zwischen diesen Grenzen liegen die Werte der meisten anderen Riechstoffe. Von der Größe der Reizschwelle ist die *Riechkraft* der Stoffe, d. h. das Steigen der Empfindungsstärke mit wachsender Reizstärke, durchaus unabhängig. So kann z. B. Kampfer, dessen Reizschwelle relativ hoch liegt, einen sehr intensiven Geruch

[1] Sur les sensations olfactives. L'année psychol. Bd. 2. 1895. S. 379.

erregen, während Vanillin, das schon in äußerst geringer Menge gespürt werden kann, auch bei der möglichst großen Steigerung der Reizstärke nur einen schwachen Geruch gibt. Die verschiedene Riechkraft der Stoffe läßt sich am besten dadurch nachweisen, daß in einer Mischung der Stoffe nur der Geruch des kräftigeren Stoffes bemerkbar ist. Enthält ein Liter Luft 20 μgr Kampfer und 2 μgr Vanillin, so ist nur der Geruch des Kampfers merklich, obschon die verhandene Menge des Vanillins 4000 mal, die des Kampfers nur 4 mal größer als die Reizschwelle ist. Bei zehnfacher Verdünnung liegt die Menge des Kampfers schon unter der Reizschwelle, und mithin riecht das Gemisch nur nach Vanillin.

Passy hebt hervor, daß die Riechkraft der Stoffe in dem hier erwähnten Sinne fast der Reizschwelle umgekehrt proportional zu sein scheint[1]). Apriori wäre eigentlich zu erwarten, daß die Riechkraft um so größer sein würde, je niedriger die Reizschwelle, weil die Reizstärke selbstverständlich um so größer gemacht werden kann, je tiefer die Reizschwelle liegt. Tatsächlich verhält es sich aber fast umgekehrt. Dieses Verhalten ist jedoch keineswegs den Geruchsempfindungen eigentümlich; analoges gilt für die Farbenempfindungen. Wenn z. B. Rot und Grün bei gegebener Reizstärke gleich hell erscheinen, so wird das Rot viel heller als das Grün, wenn beide Reize in demselben Verhältnis wachsen, und umgekehrt wird das Rot dunkler als das Grün, wenn die Reize in demselben Verhältnis herabgesetzt werden. Diese Tatsache läßt sich unmittelbar aus den Zahlen der Tabelle 10 herauslesen. Als einfache Konsequenz folgt hieraus, daß die Reizschwelle des Grün tiefer liegt als die des Rot. In betreff des Leuchtens aber, das der Riechkraft im oben erwähnten Sinne analog ist, verhalten sich die beiden Farben, wie gesagt, eben umgekehrt. Was hier beispielsweise von Rot und Grün angeführt ist, gilt allgemein: die Reizschwelle einer Farbenempfindung liegt höher als die einer anderen, wenn die erstere Empfindung, bei proportionaler Veränderung der Reizstärke, stärker als die letztere zu- oder abnimmt. Aller Wahrscheinlichkeit nach wird es sich herausstellen, daß dieser Satz nicht nur für Farben- und Geruchsempfindungen, sondern auch für andere Sinnesgebiete gültig ist. Wenn man nur mehr zufällig hier

[1]) A. a. O. S. 387.

oder dort ihre Gültigkeit nachgewiesen hat, beruht es wohl zunächst auf der Unsicherheit der Vergleichung qualitativ verschiedener Empfindungen mit bezug auf ihre Stärke.

Sehr starke Lösungen der Riechstoffe rufen oft Empfindungen hervor, die qualitativ verschieden von den aus schwächeren Lösungen resultierenden sind. Hierzu trägt der Umstand bei, daß größere Mengen eines Riechstoffes oft neben den eigentlichen Geruchsempfindungen auch durch Reizung der Tast- und Temperaturorgane der Nase und der Geschmacksorgane oben im Kehlkopfe andere Empfindungen erregen, die gewöhnlich, wenn keine sorgfältige Analyse stattfindet, als Geruchsempfindungen aufgefaßt werden. Prickelnde, brennende, kühlende, süße und bittere „Gerüche“ sind eben keine Geruchsempfindungen, dagegen durch chemische Reizung der erwähnten Organe erregt. Da diese Nebenempfindungen gewöhnlich stärkere Reize als die eigentlichen Geruchsempfindungen erfordern, treten sie besonders bei der Einwirkung konzentrierterer Geruchsreize auf.

Bei *dauernder Reizung* ermüdet der Geruchsnerv verhältnismäßig schnell, was schon aus dem Alltagsleben bekannt ist: ein übler Geruch, der bei unserm Eintreten in einen Raum höchst unangenehm ist, kann binnen kurzem unmerklich werden. Die über die Ermüdung mit Geruchsreizen angestellten Versuche haben die interessante Tatsache festgestellt, daß die Ermüdung in den meisten Fällen nur *partiell* wird, d. h. wenn das Organ für einen bestimmten Reiz ermüdet ist, so liegt die Schwelle verschiedener anderer Reize auch höher, während wiederum andere Reize gar nicht hiervon beeinflußt werden[1]). Mischt man z. B. Cumarin und Vanillin in wässerigen Lösungen in solchem Verhältnis, daß die Lösung nur nach Vanillin riecht, so wird diese Mischung nur nach Cumarin riechen, wenn man das Organ durch dauernde Einwirkung von Vanillin ermüdet hat. Diese Tatsache spricht dafür, daß unsere Geruchsempfindungen, den Farbenempfindungen analog, aus einer bestimmten, jedoch wahrscheinlich sehr großen Anzahl Komponenten zusammengesetzt sind. Finden sich im Geruchsorgan z. B. mehrere Riechsinnessubstanzen, von denen einige von diesen, andere von jenen Riechstoffen dekomponiert werden, so ist es verständlich,

---

[1]) Aronsohn: Untersuchungen zur Physiologie des Geruches. Archiv für (Anatomie u.) Physiologie. 1886.

wie eine lange dauernde Reizung, durch Dekomposition der betreffenden Riechsinnessubstanz, die Empfindlichkeit für analoge Reize herabsetzen kann, während die Empfindlichkeit für andere Reize völlig erhalten bleibt. Eine solche Hypothese wird ferner durch die Untersuchungen über die Wirkungen gemischter Reize unterstützt.

Eine *Mischung von Riechstoffen* erregt, wenn die Komponenten einigermaßen gleich stark sind, eine von den Komponenten qualitativ verschiedene Empfindung, die sich nicht analysieren, nicht in ihre Komponenten zerlegen läßt. Ist der Geruch des einen Riechstoffes viel stärker als der des anderen, so kann der stärkere den schwächeren Geruch entweder vollständig verdecken oder wenigstens neben der resultierenden Mischempfindung merklich sein. Bei passend gewählten Intensitäten tritt aber nur der Mischgeruch hervor, und dieser kann, wenn die Stärke beider Komponenten nur gering ist, so schwach werden, daß die Geruchsempfindung fast aufgehoben ist. Die Komponenten haben sich also in solchen Fällen kompensiert. Ist die Stärke der Komponenten dagegen sehr groß, so tritt oft ein Wettstreit oder ein periodisches Schwanken der Empfindungen ein. Anfangs verschmelzen sie nicht vollständig; neben dem Mischgeruch merkt man bald die eine, bald die andere der Komponenten. Wird das Organ nun schnell von dem einen Reize ermüdet, verschwindet die eine Empfindung, kann aber vorübergehend durch eine kräftigere Inspiration wieder hervorgerufen werden[1]). Die Wirkung der Mischungen ist also je nach Art und Stärke der Reize recht wechselnd; die Hauptsache ist aber, daß die Mischungen durchweg Empfindungen erregen, die von den Komponenten qualitativ verschieden sind und sich nicht in ihre Komponenten zerlegen lassen. Diese Unmöglichkeit der Analyse ist wohl eine einfache Folge der anatomischen Verbindung des Sinnesorgans mit der zentralen Sinnessphäre. Wenn, wie wir oben sahen, jede lokal beschränkte Reizung des Sinnesorgans zahlreiche zentrale Neuronengruppen erregt, können gleichzeitige Reize kaum räumlich getrennte, zentrale Vorgänge hervorrufen, und es resultiert somit nur eine unzerlegbare Empfindung. Es ist daher auch sehr wohl möglich, daß die Gerüche ungemischter Stoffe durch die Dekomposition

---

[1]) Nagel: Über Mischgerüche. Zeitschrift für Psychologie. Bd. 15. S. 94. Handbuch der Physiologie. Bd. 3. S. 614.

verschiedener Riechsinnessubstanzen zustande kommen, obwohl wir die Komponenten nicht nachweisen können. Von der Art und der Anzahl dieser Komponenten wissen wir daher noch nichts.

Achtunddreißigstes Kapitel.

Die Geschmacksempfindungen.

Das *Geschmacksorgan* befindet sich auf der Zunge, dem weichen Gaumen, dem Kehldeckel (Epiglottis) und dem

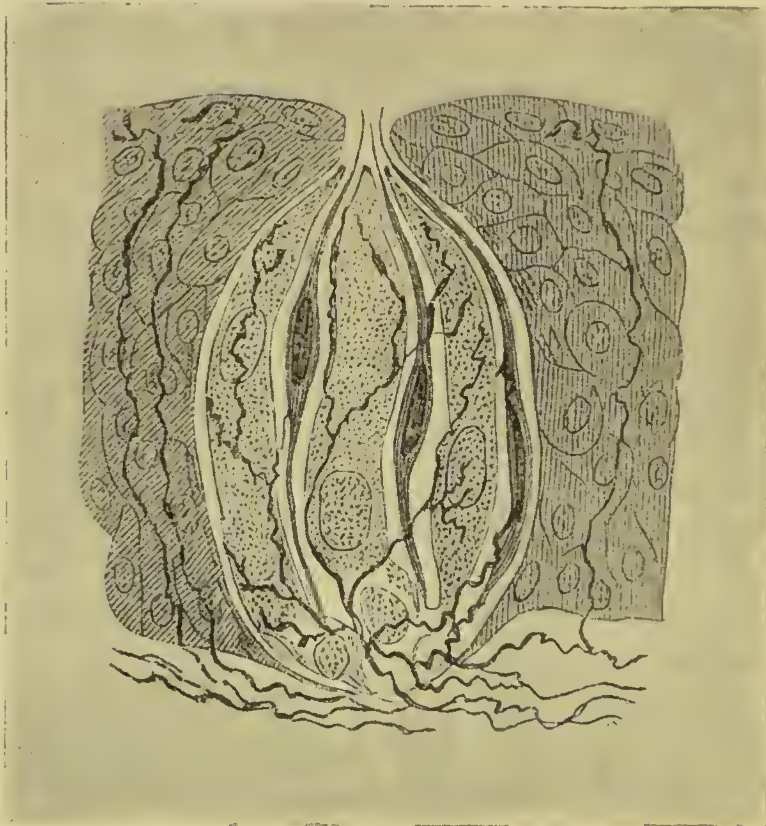


Fig. 55. Schematische Darstellung einer Geschmacksknospe (nach Henle).

Inneren des Kehlkopfes. Es bildet keine zusammenhängende Fläche, sondern besteht aus einer größeren Anzahl isolierter Organe, den *Geschmacksknospen.* Diese Organe liegen in der Schleimhaut der Mundhöhle und des Kehlkopfes und bestehen aus Gruppen langgestreckter Zellen, die der Form nach als Schmeckzellen und Stützzellen bezeichnet werden (Fig. 55). Die Spitzen dieser Zellen liegen unmittelbar hinter einer kleinen Öffnung des Epithels, der Geschmackspore; durch die Geschmacksporen dringen die als Reize dienenden Flüssigkeiten zu den Nervenendigungen hinein. Die Geschmacks-

knospen kommen gruppenweise in den Papillen der Zunge vor. Man unterscheidet drei Arten von Papillen: 1. Die *umwallten* (p. circumvallatae), die die größten sind (2—3 mm im Durchmesser), mehrere Hunderte Geschmacksknospen enthalten und nur am hinteren Teil der Zungenoberfläche vorkommen. 2. Die *pilzförmigen Papillen* (p. fungiformes), die an der Spitze der Zunge sich von der weißlicheren Umgebung durch ihre rote Farbe hervorheben. 3. Die *blattförmigen Papillen* (p. foliatae) an den Seitenrändern der Zunge. In der Mitte des Zungenrückens kommen bei Erwachsenen keine funktionsfähigen Geschmacksknospen vor; bei Kindern dagegen finden sie sich nicht nur hier, sondern auch an verschiedenen andern Stellen (dem harten Gaumen und der Wangenschleimhaut), deren Empfindlichkeit also ebenfalls mit zunehmendem Alter abnimmt. Dieser Rückgang der Geschmacksempfindlichkeit ist jedoch individuell recht verschieden; es kann z. B. vorkommen, daß die Empfindlichkeit am harten Gaumen bestehend bleibt, während sie am weichen Gaumen verschwindet, u. ä.[1]).

Der Teil der Zunge, der für Geschmacksreize unempfindlich gefunden wird, hat eine verschiedene Größe je nach dem zur Prüfung angewandten Reiz. Am größten ist der für bittere, am kleinsten der für sauere Stoffe unempfindliche Teil, und dieser letztere Teil läßt sich überhaupt nicht mit Geschmacksstoffen reizen.

Nicht weniger als drei Nerven vermitteln die Fortpflanzung der Erregung von den Geschmacksorganen zur Sinnessphäre des Großhirns. Nervus lingualis, ein Ast des fünften Gehirnnerven, versorgt die vorderen zwei Drittel der Zunge, Glossopharyngeus den hinteren Teil der Zunge und die übrigen geschmacksempfindlichen Teile der Mundhöhle. Die Geschmacksknospen des Kehldeckels und des Kehlkopfes stehen wahrscheinlich mit Vagusfasern in Verbindung.

Die *Geschmacksempfindungen*, die wir von unseren Nahrungs- und Genußmitteln erhalten, sind meistens sehr kompliziert, indem Geruchs-, Tast- und Temperaturempfindungen mit den eigentlichen Geschmacksempfindungen fast immer verbunden sind und von den letzteren nur durch eine sorgfältige Analyse sich unterscheiden lassen. Tast- und Temperaturempfindungen

[1]) Kiesow: Beiträge zur physiol. Psychologie des Geschmacks. Wundts Phil. Studien. Bd. 10. S. 340.

sind kaum zu vermeiden, da die Reize des Geschmackssinnes in flüssiger oder fester Form in die Mundhöhle gelangen, und die eigentümlichen weichen, schlüpfrigen, brennenden, kalten und adstringierenden Geschmäcke, z. B. die verschiedener Geleen und Gewürze, beruhen hauptsächlich nur auf solchen Empfindungen. Eine wie große Rolle die Geruchsempfindungen für den Geschmack spielen, geht daraus hervor, daß ein starker Schnupfen, der das Geschmacksorgan gar nicht beeinflußt, dennoch das Essen geschmacklos erscheinen läßt. Am einfachsten überzeugt man sich von dieser Bedeutung der Geruchsempfindungen, wenn man die Nase zuhält; die Dämpfe können dann weder durch die vorderen noch durch die hinteren Nasenlöcher in die Riechspalte eindringen, und die Geruchsempfindungen sind daher völlig eliminiert. Unter diesen Umständen schmeckt z. B. Zimt wie Mehl, d. h. es besteht nur eine Tastempfindung [1]); Thee wird einfach warmes Wasser usw. Wie bei den Gerüchen verschmelzen also auch bei den Geschmäcken Empfindungen verschiedener Sinnesgebiete zu Komplexen. Es ist aber, wie gesagt, leicht, die sich beteiligenden Geruchsempfindungen aus den Geschmäcken auszuschließen, und wegen der leichteren Zugänglichkeit des Geschmacksorgans können bei experimentellen Untersuchungen fast alle fremden Empfindungen, bis auf die leise Tastempfindung der Lösungsflüssigkeiten, eliminiert werden.

Auf die erwähnte Weise resultieren als eigentliche Geschmacksempfindungen nur die vier Qualitäten: Süß, Sauer, Bitter und Salzig. Alle anderen Geschmacksempfindungen sind nur Kombinationen dieser vier Qualitäten in verschiedenen Stärkegraden. Handelt es sich aber bloß um einfache Kombinationen von nur zwei Geschmäcken, so entstehen nur ausnahmsweise neue Qualitäten; in den meisten Fällen empfindet man die beiden Geschmäcke nebeneinander, und es kommen also keine besonderen Übergänge zwischen den einfachen Qualitäten vor. Hieraus schließt Öhrwall, daß unsere vier Geschmacksqualitäten eigentlich keine Arten eines Sinnes, sondern vier verschiedene Modalitäten sind [2]). Eine solche Auffassung übersieht zweifellos den Unterschied zwischen den analysierenden und den nichtanalysierenden Sinnen. (Vgl. Kap. 21 und 23.)

[1]) Kiesow, a. a. O. S. 524.

[2]) Skandinavisches Archiv für Physiologie. Bd. 2. 1891. S. 16 u. f.

Der Geschmackssinn löst, wie der Gehörssinn, alle Empfindungen in eine gewisse Anzahl Komponenten auf; diese Anzahl ist aber beim Gehörssinn außerordentlich groß, beim Geschmackssinn auf vier beschränkt. Unsere Farbenempfindungen dagegen können samt und sonders aus drei Komponenten zusammengesetzt werden; da wir aber außerstande sind, durch psychologische Analyse diese Empfindungen in ihre Komponenten zu zerlegen, so ergibt jede gleichzeitige Erregung mehrerer Komponenten immer neue Qualitäten. Der Geschmackssinn hat nur eine geringe Anzahl Komponenten, besitzt aber die Fähigkeit der Analyse; deshalb läßt sich jede Mischempfindung in diese begrenzte Anzahl Komponenten zerlegen.

Ob die Mischempfindungen eines Sinnesgebietes zu unzerlegbaren Komplexen verschmelzen oder sich in ihre Komponenten auflösen lassen, beruht, wie schon oben (S. 172) erwähnt, zweifellos auf dem anatomischen Bau des Organs im weitesten Sinne. Unsere Farbenempfindungen sind vollständige Verschmelzungen, weil die drei Sehsubstanzen nicht räumlich getrennt, sondern in allen Zapfen der Netzhautmitte vorkommen. Die gleichzeitige Dekomposition mehrerer Sehsubstanzen erregt daher dieselbe zentrale Neuronengruppe; es entstehen mithin nicht mehrere verschiedene, zentrale Vorgänge, die psychisch als verschiedene, gleichzeitige Empfindungen hervortreten, sondern nur ein einheitlicher, wenngleich komplexer Vorgang, dessen psychisches Äquivalent eine neue, unzerlegbare Qualität ist. Fänden sich die verschiedenen Sehsubstanzen dagegen je in ihren besonderen Zapfen, die wiederum mit je ihren besonderen zentralen Neuronengruppen verbunden wären, so würden sich aus einer Mischung von Farbenstrahlen nur die Empfindungen der Komponenten ergeben. Einem solchen Auge würde die Welt wohl wie ein Dreifarbendruck in Autotypie, aus roten, grünen und blauen nebeneinander liegenden Farbenpunkten zusammengesetzt, vorkommen. Im Ohr ist diese räumliche Trennung der Komponenten mit je ihren besonderen zentralen Neuronengruppen verwirklicht; eine komplizierte Schallwelle erregt daher zumeist mehrere Empfindungen. Nur wenn die Komponenten sich so nahe liegen, daß sie dieselbe Strecke der Basilarmembran, und mithin auch dieselbe zentrale Neuronengruppe erregen, entstehen nicht mehrere, sondern nur eine einzige Empfindung, der Zwischenton, der sich eben nicht zerlegen läßt. Das Geschmacksorgan besteht nun, wie wir gesehen haben, aus zahlreichen, räumlich getrennten Teilen, den Papillen. Wenn diese Sinnespunkte also einerseits mit verschiedenen Neuronengruppen der zentralen Sinnessphäre in Verbindung stehen, und anderseits auf einen gegebenen Reiz nicht ganz gleichartig reagieren, indem in einigen Punkten eine, in anderen Punkten eine andere Komponente leichter erregt wird, so muß der Geschmack ein analysierender Sinn sein. Daß die letzterwähnte Bedingung nun tatsächlich erfüllt ist, läßt sich leicht experimentell nachweisen.

Auch ohne eingehende Untersuchungen anzustellen, bemerkt man leicht, daß Süß besonders an der Spitze der Zunge, Bitter am Zungengrunde und Sauer an den Seiten-

rändern der Zunge erregt wird. Durch Reizung der einzelnen Papillen läßt es sich ferner feststellen, daß die verschiedenen Papillen sich durchaus nicht gleich verhalten[1]. Einige reagieren überhaupt nicht auf Geschmacksreize, andere nur auf eine Art dieser Reize (Weinsäure, Zucker oder Chinin), wiederum andere auf zwei oder drei verschiedene Reize. Nach Kiesow ist es beinahe als eine Ausnahme anzusehen, wenn eine Papille auf alle vier Komponenten reagiert. Funktionelle Unterschiede bestehen also schon zwischen den einzelnen Papillen, und da solche Unterschiede außerdem, wie schon erwähnt, zwischen den verschiedenen Teilen der Zunge deutlich hervortreten, ist damit die Möglichkeit der Analyse gegeben. Indem ein komplizierter Reiz an den verschiedenen Stellen der Zunge verschiedene Empfindungen erregt, von welchen bald die eine, bald die andere stärker hervortreten kann, wird der Komplex sowohl räumlich als zeitlich in seine Komponenten zerlegt.

Obwohl also im allgemeinen die Mischgeschmäcke sich bei näherer Betrachtung in die vier Qualitäten auflösen lassen, gibt es dennoch einige Komplexe, deren Analyse nicht ganz leicht gelingt. Dies gilt von dem *laugigen* und dem *metallischen* Geschmack. In diesen beiden Fällen spielen nun zweifellos Hautempfindungen eine Hauptrolle, indem sie die schwachen Geschmacksempfindungen überwiegen. Der laugige Geschmack, der von Lösungen von Ätzalkalien erregt wird, ist hauptsächlich eine Empfindung der Glätte, die dadurch entsteht, daß das Alkali die Schleimhaut verseift; nebenbei treten die Empfindungen Süß und Salzig schwach hervor. Übrigens hat Kiesow nachgewiesen, wie eine Lösung von Rohrzucker und Kochsalz (etwa 4 % Rohrzucker und 0,7 % Salz enthaltend) einen faden, laugigen Geschmack ergibt, worin die beiden Qualitäten kaum merklich sind[2]. Es findet also hier eher eine Kompensation oder Verschmelzung als eine Zerlegung der schwachen Geschmacksempfindungen statt. Ähnliches gilt vom metallischen Geschmack. Die Hautempfindung des Adstringierenden überwiegt hier weitaus die eigentlichen Geschmacksempfindungen, die, je nach den chemischen Verbindungen, Sauer, Bitter oder Salzig sind. Auch diese Emp-

[1] Öhrwall, a. a. O. S. 52 u. f. Vgl. Kiesow: Schmeckversuche an einzelnen Papillen. Wundts Phil. Studien. Bd. 14. S. 613.

[2] Zur Psychol. des Geschmackssinnes. Phil. Studien. Bd. 12. S. 269.

findungen können sich übrigens in ganz bestimmten, individuell aber sehr verschiedenen Verhältnissen fast kompensieren. Aus einer diesbezüglichen Versuchsreihe, die ich 1892 mit mehreren Versuchspersonen angestellt habe, ging hervor, daß Sauer und Salzig völlig zu einer neuen Qualität verschmelzen können. Als Schmeckstoffe dienten Zitronensäure und Chlornatrium; für eine Versuchsperson trat die Verschmelzung bei einer Lösung von 0,18 % Zitronensäure und 0,42 % Chlornatrium, für zwei andere Personen bei einer Lösung von 0,35 % Zitronensäure uud 0,35 % Chlornatrium ein. Ähnliche Verschmelzungen von Sauer und Süß wurden ebenfalls nachgewiesen, z. B. bei einer Lösung von 0,05 % Zitronensäure und 1,95 % Zucker. Da sich also solche Kompensationen experimentell zustande bringen lassen, ist es jedenfalls wahrscheinlich, daß der metallene Geschmack nur eine Verschmelzung schwacher Geschmacksempfindungen ist, die von stark hervortretenden Tastempfindungen begleitet wird.

Um die *physikalischen und chemischen Eigenschaften der Stoffe*, auf welchen der Geschmack beruht, wissen wir nur wenig. Daß ein Stoff, um überhaupt das Geschmacksorgan reizen zu können, in Wasser löslich sein muß, kann wohl als festgestellt angesehen werden. Übrigens zeigt es sich, daß viele Säuren sauer, viele Salze salzig, die meisten löslichen Kohlenhydrate süß und die Alkaloide bitter schmecken; es gibt aber auch zahlreiche Ausnahmen, ebenso wie es auch z. B. süß schmeckende Stoffe (Bleizucker, Chloroform, Beryllverbindungen) gibt, deren chemische Zusammensetzung von denen der Zuckerarten völlig abweicht. Hierzu kommt noch, daß ein gegebener chemischer Stoff je nach der Applikationsstelle verschieden schmecken kann. So schmeckt z. B. Allaun an der Zungenspitze süß, am Zungengrunde dagegen bitter, und ähnliches gilt für zahlreiche andere Stoffe [1]). Durch diese Tatsache wird die Aussicht, bestimmte chemische Verhältnisse als maßgebend für den Geschmack der Stoffe nachzuweisen, äußerst gering.

Die Bedeutung der *Intensität der Reize* ist schwierig festzustellen, indem nicht nur die Menge des gelösten Stoffes, sondern auch die Menge der Lösungsflüssigkeit, also die Konzentration der Lösung, eine Rolle spielt. Eine geringe

---

[1]) Sternberg, Archiv für (Anatomie und) Physiologie 1898, S. 451 und 1903, S. 113.

Menge einer konzentrierten Lösung hat eine stärkere Wirkung als dieselbe Stoffmenge in einer größeren Quantität Wasser gelöst. Außerdem wächst die Stärke der Empfindung mit der Größe der gereizten Fläche. Diese verschiedenen Umstände machen die Schwellenbestimmungen der verschiedenen Schmeckstoffe belanglos, indem die Resultate je nach der Stoffmenge, der Konzentration, der Applikationsweise und den individuellen Verschiedenheiten der Versuchspersonen variieren.

Die *zeitlichen Verhältnisse* der Geschmacksempfindungen tragen auch dazu bei, deren Analyse zu erleichtern. Die Zeit, die das Erkennen einer bestimmten Qualität erfordert, ist nämlich für die verschiedenen Geschmäcke recht verschieden und variiert übrigens auch mit der Applikationsstelle. Als Minimum der Erkennungszeit hat man gefunden: Salzig 0,25 Sek., Süß 0,30, Sauer 0,64 und Bitter 2 Sek.[1]). In einem Mischgeschmack kann daher gleich anfangs die eine, etwas später die andere Qualität hervortreten, so daß sich schon dadurch der Mischgeschmack in seine Komponenten zerlegt.

Bei längerer *Reizdauer* ermüdet der Geschmackssinn relativ leicht. Schon aus dem täglichen Leben ist es bekannt, daß ein Wechsel der Reize notwendig ist, um den Geschmack einer Speise zu erhalten; ein Gericht wird leicht geschmacklos, wenn es gar keinen Wechsel der Eindrücke zuläßt. Die experimentelle Untersuchung bestätigt denn auch diese Erfahrung, indem es sich zeigt, daß eine Papille bei dauernder Reizung mit einem bestimmten Stoffe sehr bald an Empfindlichkeit abnimmt[2]). Meiner Erfahrung nach ist diese Abnahme der Empfindlichkeit jedoch für die verschiedenen Geschmacksqualitäten eine äußerst verschiedene. Während Süß und Salzig schnell an Stärke abnehmen, unterliegen Sauer und besonders Bitter nur geringer Veränderung. Einen bitteren Geschmack kann man nur schwierig los werden; er besteht mit nur wenig abnehmender Stärke, bis die letzte Spur des Schmeckstoffes aus dem Munde entfernt worden ist.

Da die Empfindlichkeit des Geschmacksorgans durch eine Reizung herabgesetzt wird, ist das Organ damit *umgestimmt*, d. h. andere Reize werden eine von der normalen abweichende Empfindung erregen. Süßes Obst schmeckt sauer, wenn man unmittelbar vorher noch süßere Sachen gegessen hat. Eine

---

[1]) Nagels Handbuch der Physiologie. Bd. 3. S. 644.

[2]) Kiesow, Wundts Phil. Studien. Bd. 14. S. 599.

sehr schwache Lösung von schwefelsaurem Chinin, die eben bitter schmeckt, erhöht momentan die Süßigkeit einer Zuckerlösung. Spült man den Mund mit einer Lösung von chlorsaurem Kali, die einen schwachen, bitter-salzigen Geschmack hat, schmeckt Wasser nachher süß usw. Solche Tatsachen sprechen fast dafür, daß jeder Reiz alle Komponenten des Geschmackssinnes allerdings mit sehr verschiedener Stärke erregt. Die tatsächliche Empfindung wird daher einfach das Gesamtergebnis aller dieser Reizungen, das von den am stärksten erregten Komponenten, die die anderen überwiegen, bestimmt wird. Sobald daher die Erregbarkeit einer Komponente auf irgend eine Weise herabgesetzt ist, muß auch die durch einen bestimmten Reiz hervorgerufene Empfindung von der Norm abweichen. Außerdem erklärt diese Hypothese, wie ein Reiz, je nach der Applikationsstelle, verschiedene Empfindungen hervorrufen kann, wenn man davon ausgeht, daß die Erregbarkeit der verschiedenen Komponenten lokal verschieden sind. Unwahrscheinlich ist eine solche Annahme also keineswegs, nur wissen wir vorläufig zu wenig, um etwas feststellen zu können.

IV. Die Hautempfindungen.

Neununddreißigstes Kapitel.

Die Hautempfindungen im allgemeinen.

Von der Haut und einigen Schleimhäuten kann durch verschiedene Reize eine ganze Reihe verschiedener Empfindungen hervorgerufen werden. Je nach der Art der Reizung empfinden wir Druck und Stich, Kälte und Wärme, Kitzel und Jucken, und diese Empfindungen sind uns zumeist in recht komplizierten Verbindungen gegeben. Die erwähnten Empfindungen wurden lange als verschiedene Qualitäten des „Tastsinnes“ oder „Gefühlssinnes“ angesehen, bis es Blix (1882) gelang, nachzuweisen, daß die verschiedenen Empfindungen keineswegs von jedem Punkte aus erregt werden können, indem die Reize in einigen Punkten nur Druck-, in anderen nur Kälte- und in wiederum anderen nur Wärmeempfindungen hervorrufen [1]). Jeder solche Punkt verhält sich also wie ein besonderes Sinnesorgan, dessen Reizung nur eine bestimmte

[1]) Upsala läkareförен. förhandlingar. Bd. 18. 1882—83.

Gruppe von Empfindungen erregt. Später (1894) wies v. Frey nach, daß die Stichempfindungen ebenfalls nur von besonderen Punkten aus, die mit den Druck-, Kälte- und Wärmepunkten nicht zusammenfallen, hervorgerufen werden können [1]).

Frey bezeichnete die Stichempfindungen als Schmerzempfindungen. Wie wir aber später sehen werden, sind diese Empfindungen keineswegs immer schmerzhaft, dagegen haben sie stets den Charakter eines Stiches, so daß schon deshalb die Bezeichnung Stichempfindung der anderen vorzuziehen ist. Außerdem hat das Wort schon zu verschiedenen Mißverständnissen Anlaß gegeben, indem man aus dem Namen gefolgert hat, daß diese Empfindungen eine engere Beziehung als alle anderen Empfindungen zu den Gefühlen hätten, was auch nicht der Fall ist. Schließlich können die Stichempfindungen unter gewissen Umständen viel eher einen angenehmen als einen unangenehmen Charakter haben; es hat aber keinen Zweck, von angenehmen Schmerzempfindungen zu reden, wenn man mit geringer Mühe den Widerspruch vermeiden kann. Ich nehme daher im folgenden von diesem Worte Abstand.

Um sich von der Existenz der verschiedenen Sinnespunkte zu überzeugen, muß man einige, übrigens recht einfache Apparate benutzen, die zur Reizung möglichst kleiner Flächen eingerichtet sind. Mittels kegelförmig zugespitzter Behälter aus Neusilber, die mit kaltem oder warmem Wasser gefüllt werden, kann man die *Kälte-* und *Wärmepunkte* finden. Die ersteren sind sehr leicht zu bemerken, weil sie recht zahlreich sind und die Empfindung relativ schnell hervorgerufen wird. Schwieriger ist es dagegen, die Wärmepunkte nachzuweisen, weil sie spärlicher vorkommen und die Wärmeempfindung langsamer ansteigt. Die warme Spitze muß daher langsam, mit möglichst geringem Drucke, auf der Haut umhergeführt werden, und es dauert oft lange, ehe man die schwache, punktförmige Empfindung bemerkt.

Das Aufsuchen der *Druckpunkte* gelingt am besten mittels der von Frey angegebenen Reizhaare, 2—3 cm lange Haarstücke, die an dem einen Ende eines kurzen, leichten Holzstabes festgeklebt sind; die Haare müssen von verschiedener Länge und Dicke sein, damit sie verschiedene Drucke ausüben können. Setzt man ein solches, passend gewähltes Reizhaar an verschiedenen Stellen senkrecht zur Hautfläche auf und drückt, bis es sich schwach biegt, kann man sich schon

[1]) Beiträge zur Physiologie des Schmerzsinnes. Berichte der mathem.-phys. Klasse der Sächsischen Akademie. Leipzig 1894. Untersuchungen über die Sinnesfunktionen der menschlichen Haut. Leipzig 1896.

hierdurch davon überzeugen, daß der Druck keineswegs überall, sondern nur in ganz bestimmten Punkten empfunden wird. Je leichter das Haar sich biegt, um so weniger Punkte findet man, wo der Druck merklich ist; mittels Haaren verschiedener Stärke kann man somit die Empfindlichkeit der Druckpunkte bestimmen. Ist das Haar zu steif, merkt man den Druck überall, indem dieser durch die Deformation der Haut auf die in der Nähe liegenden Druckpunkte übertragen wird.

Um sich davon zu vergewissern, daß es nicht dieselben Punkte sind, die auf Druck, Kälte und Wärme reagieren, kann man jede Art der gefundenen Punkte mit einer besonderen Farbe merken. Dies gelingt am besten auf die Weise, daß man Glasrohre an dem einen Ende zu feinen Haarröhrchen auszieht und mit verschiedenen Lösungen von Anilinfarben füllt; mittels solcher Rohre kann man ganz winzige Farbenflecke auf die Haut bringen. Aus der so markierten Verteilung der Sinnespunkte ersieht man leicht, daß die verschiedenen Arten der Sinnespunkte nicht zusammenfallen, was selbstverständlich nicht ausschließt, daß hier und dort einige Punkte sich so nahe liegen können, daß die farbigen Flecke sich teilweise decken.

Die *Stichpunkte* sind nicht schwierig zu finden, da sie äußerst zahlreich sind, und mittels einer feinen Nähnadel, die leise auf die Haut aufgesetzt wird, kann man leicht die charakteristische Stichempfindung hervorrufen, die mit der Empfindung der Druckpunkte gar keine Ähnlichkeit hat. Sind die Druckpunkte eines Hautfeldes vorher markiert, stellt man leicht fest, daß die Stichempfindung von den Druckpunkten aus zumeist nicht erregt werden kann; da aber viele Stichpunkte den Druckpunkten nahe liegen, läßt sich bisweilen eine Stichempfindung in den letzteren hervorrufen. Durch das angegebene ziemlich grobe Verfahren ist daher die Möglichkeit nicht ausgeschlossen, daß die Stichempfindung nur eine stärkere Druckempfindung sei, die dann entsteht, wenn man zufällig einen stärkeren Druck ausübt. Klebt man aber die Spitze einer der feinsten Nähnadeln mit Klebewachs an ein nicht zu schwaches Reizhaar (Roßhaar), kann der hiermit auszuübende Druck eine gewisse Grenze nicht überschreiten. Mit diesem einfachen Apparat läßt sich dann feststellen: 1. daß in den vorher gefundenen, selbst sehr empfindlichen Druckpunkten zumeist nur Druckempfindungen ausgelöst werden können, und 2. daß an vielen Stellen, wo keine Druckpunkte gefunden sind, die charakteristischen Stichempfindungen erregt werden. Es kann also keinem Zweifel unterliegen, daß es sich hier um zwei verschiedene Sinnesorgane handelt.

Daß es sich tatsächlich so verhält, geht auch aus folgendem Umstand hervor. *Wird ein Druckpunkt erregt, entsteht die Empfindung augenblicklich und hört mit der Reizung sofort auf.* Die Stichpunkte dagegen reagieren viel langsamer. Wird die am Roßhaare befestigte Nadelspitze auf einen Stichpunkt aufgesetzt, *dauert es oft bis etwa 1 Sekunde, ehe die Stichempfindung merklich wird, und sie erreicht erst in einigen Sekunden ihr Maximum. Wenn die Reizung aufhört, dauert die Empfindung noch lange, 10—20 Sekunden, je nach der Stärke der Reizung, fort,* selbst wenn die Haut nicht im geringsten verletzt worden ist. *Die Stichempfindung klingt schließlich als Jucken ab*, d. h. die bisher kontinuierliche Empfindung geht in eine Reihe äußerst schnell aufeinander folgender, schwacher Stichempfindungen über. Wenn dieses Jucken verschwunden ist, tritt es gewöhnlich wieder hervor, sobald kleine Bewegungen der Muskeln des betreffenden Gliedes ausgeführt werden. Eine solche Wiederbelebung der Juckempfindung läßt sich mehrmals wiederholen, so daß die letzte Spur der Stichempfindung noch 3—4 Minuten nach der Reizung merklich sein kann. Auch ohne eine vorhergehende, ausgesprochene Stichempfindung läßt sich das Jucken durch eine sehr schwache Reizung eines Stichpunktes auslösen; die Juckempfindung tritt dann sofort auf und verschwindet bald wieder. Es kann somit keinem Zweifel unterliegen, daß das Jucken unter normalen Umständen das auf einem bestimmten Stadium der Stärke befindliche Nachbild einer Stichempfindung ist. Starkes Jucken kann allerdings auch vorkommen, dann müssen aber mehrere Stichpunkte gleichzeitig oder unmittelbar nacheinander gereizt werden; auf diese Verhältnisse kommen wir später (Kap. 40) zurück.

Wenn das Jucken sehr schwach wird, hat es den Charakter des *Kitzels.* Schon nach der Reizung eines einzelnen Stichpunktes geht das entstandene Jucken schließlich in eine mehr kitzelnde Empfindung über, und eine bestimmte Grenze zwischen Jucken und Kitzel läßt sich überhaupt nicht ziehen. Noch ausgesprochener tritt der Kitzel hervor, wenn man mehrere Punkte der Haut schnell nacheinander mit dem Stichreizhaare leise reizt; dann klingt das Jucken entschieden als Kitzel ab. Übrigens läßt sich der Kitzel, wie bekannt, am besten auf die Weise erregen, daß die Haut mit irgend etwas Weichem leise und langsam gestrichen wird; ein 1 mm breiter, 8 cm langer Streifen weichen Papiers ist zu diesem Zwecke vorzüglich. Die Haut

ist jedoch nicht überall gleich kitzlig; die dünne Haut der Schläfen, der Stirn, der Nasenflügel und der Innenseite des Unterarms läßt sich leicht mit dem Papierstreifen kitzeln, während die Handteller und die Fußsohlen, die übrigens sehr kitzlich sind, stärkere Reize erfordern. Die Ursache dieser Unterschiede sowie des Kitzels überhaupt soll später (Kap. 40) erörtert werden; hier stellen wir nur die aus den Beobachtungen sich unmittelbar ergebenden Resultate fest: der Kitzel ist der Stichempfindung nahe verwandt, indem erstens das Jucken oft in Kitzel übergeht, und zweitens der Kitzel mit der Stichempfindung die Eigentümlichkeit gemeinsam hat, daß alle beide die Reizung lange überdauern.

Die Sinnesorgane der Haut. In der Haut findet sich eine große Anzahl verschiedener Gebilde, die zweifellos als Sinnesorgane aufzufassen sind, obschon es noch größtenteils unentschieden ist, welche Empfindungen die verschiedenen Organe vermitteln. Was sich hierüber mehr oder weniger sicher hat feststellen lassen, soll in den folgenden Kapiteln angegeben werden; hier betrachten wir nur den Bau dieser Gebilde.

In die Oberhaut (Epidermis) treten zahlreiche Nervenfasern ein, die sich dendritisch verästeln und in kleine Knöpfchen *frei* endigen. (Fig. 56, *1*; die Figur gibt eine schematische Darstellung der verschiedenen Organe und ihrer Lage.)

An der Grenze zwischen der Oberhaut und der Lederhaut (Corium) liegen die *Merkel'schen Tastzellen*, kleine ovale Zellen, die mit je einer Nervenfaser in Verbindung stehen. Die Nervenfaser breitet sich zu einem flachen Tastmeniskus aus, der sich um die Tastzelle legt. (Fig. 56, *2*.)

In den äußeren Teilen der Lederhaut kommen die *Meißnerschen Tastkörperchen* vor, die aus einer ovalen, zahlreiche Zellen enthaltenden Kapsel bestehen. Die Zellen sind stark komprimiert, so daß sie flache Scheiben bilden, zwischen welche die in die Tastkörperchen eindringenden Nervenfasern sich ausbreiten. (Fig. 56, *3*.)

In den tieferen Teilen der Lederhaut und im Unterhautbindegewebe liegen die *Kolbenkörperchen*, *Krauses'chen* und *Vater-Pacini'schen Körperchen* (Fig. 56, *4*), die aus mehr oder weniger zahlreichen Lamellen gebaut sind und eine bandförmige Nervenfaser enthalten. Außer der Zentralfaser dringt oft noch eine andere, feinere Nervenfaser in das Körperchen ein, teilt sich und bildet ein Geflecht um die Zentralfaser. Ebenfalls in den tieferen Schichten der Haut kommt eine

zweite Art der Nervenendigungen, die *Ruffini'schen Körperchen*, vor. In diese Körperchen dringen eine oder mehrere Nervenfasern, die sich stark verästeln und wieder anastomosieren, zusammenlaufen; die Äste endigen in kleine Knöpfchen. (Fig. 56, *5*.)

Noch eine besondere Vorrichtung, die, wie wir sofort sehen werden, zweifellos zu den Sinnesorganen gerechnet werden muß, findet sich an den Haaren. Um den Haarbalg schlingt sich eine Nervenfaser, deren frei endigende Äste einen Ring um die Haarwurzel bilden. (Fig. 56, *6*.) Jede Berührung des Haares in der Nähe der Haut wird als Reiz auf das Nervengeflecht übertragen.

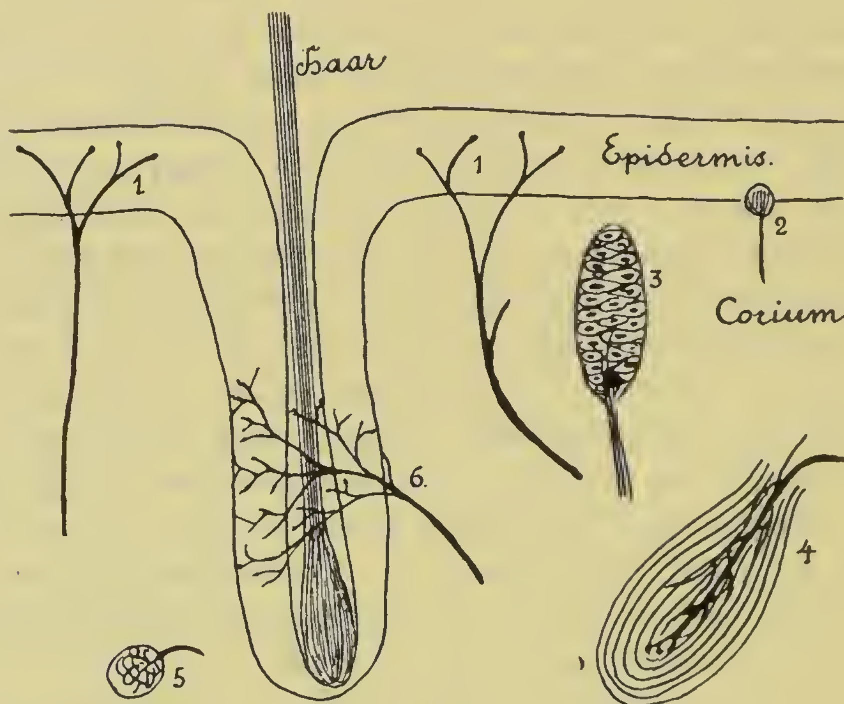


Fig 56.

Vierzigstes Kapitel.

Die Druck- und Stichempfindungen.

Die Druckempfindungen. Die nähere Untersuchung über die Lage der Druckpunkte hat als Resultat ergeben, daß ein Druckpunkt an den behaarten Teilen der Haut fast immer an der Luvseite jedes Haares zu finden ist. Es ist daher äußerst wahrscheinlich, daß eben das um den Haarbalg herum liegende Nervengeflecht, das schon auf eine leise Berührung des Haares reagiert, dem Druckpunkte entspricht. Auf den haarlosen Teilen der Haut finden sich ebenfalls Druckpunkte, bald dicht

gedrängt, bald weiter voneinander entfernt. An diesen Stellen finden sich die Meißner'schen Tastkörperchen, und zwar um so zahlreicher, je empfindlicher die betreffenden Teile der Haut sind; es wird daher angenommen, daß diese Körperchen an den unbehaarten Partien die Nervengeflechte der Haare vertreten.

Die Stärke der Erregung eines Druckpunktes ist nicht nur von der Größe des Druckes, sondern auch sowohl von der Geschwindigkeit, mit der die Haut deformiert wird, als von der Größe der gereizten Fläche abhängig. Läßt man den Reiz mit konstanter Geschwindigkeit einwirken, kann man die Abhängigkeit der Erregung von den beiden andern Faktoren z. B. auf die Weise untersuchen, daß man die Schwellenwerte des Druckes für verschiedene Flächen bestimmt. Zu diesem Zwecke müssen Druckpunkte gefunden werden, deren gegenseitige Entfernungen so groß sind, daß eine Vergrößerung der Reizfläche nicht die Reizung eines Nachbarpunktes herbeiführt. Durch derartige Untersuchungen hat es sich herausgestellt, daß der Druck pro mm², der eine eben merkliche Empfindung erregt, mit abnehmender Reizfläche kleiner wird, bis er ein Minimum bei etwa 0,4 mm² erreicht, wo der Druck 0,36 g pro mm² ist. Wird die Reizfläche noch kleiner, steigt der Druck sehr schnell, so daß er bei einer 5 Mal kleineren Reizfläche schon 4 g pro mm² beträgt[1]).

Hieraus ergibt sich, daß *nicht der auf das Tastkörperchen wirkende Druck, sondern die in der Umgebung des Sinnesorgans entstehende Druckdifferenz, das Druckgefälle, als Reiz wirkt.* Bei größeren Reizflächen wird das Druckgefälle nämlich relativ klein, weil der Druck auf entferntere Teile übertragen wird; bei sehr kleinen Reizflächen wird das Druckgefälle auch sehr klein, indem die Spannung der Oberhaut so groß wird, daß sie den Druck trägt. Bei einer zwischen diesen Extremen liegenden Flächengröße muß das Druckgefälle also sein Maximum erreichen. Auch ohne Messung, durch einen einfachen Versuch, läßt es sich direkt beobachten, daß nicht der konstante Druck, sondern nur die Druckveränderung als Reiz wirkt. Taucht man einen Finger in Quecksilber, das die Temperatur der Haut hat, ein, empfindet man den Druck nur an der Grenzschicht zwischen Luft und Quecksilber; den viel größeren,

---

[1]) Frey und Kiesow: Über die Funktion der Tastkörperchen. Zeitschr. für Psychol. Bd. 20. S. 147.

allmählich wachsenden Druck im Inneren der Flüssigkeit merkt man gar nicht, unzweifelhaft weil das Druckgefälle hier in jedem Punkt sehr klein ist. (Der Meißner'sche Versuch.)

Durch Reizung außerhalb der Druckpunkte läßt sich zwar auch eine Druckempfindung erregen; der Reiz muß aber dann relativ stärker sein, was nach dem Vorhergehenden leicht verständlich ist. Das Druckgefälle, das in der Umgebung der Tastkörperchen hervorgebracht werden kann, nimmt bei konstanter Reizgröße mit der Entfernung des Reizungsortes ab; die Reizschwelle wächst daher mit dieser Entfernung.

Die bisher erwähnten Untersuchungen betreffen nur eine im täglichen Leben bloß ausnahmsweise vorkommende Reizung isolierter Druckpunkte. Gewöhnlich wird nämlich ein Druck auf mehrere Druckpunkte gleichzeitig ausgeübt, und es würde daher von Interesse sein, festzustellen, wie die Empfindung bei konstantem Druck von der Größe der Reizungsfläche abhängig ist. Im voraus steht zu erwarten, daß die Belastung, gleiche Empfindlichkeit der Haut vorausgesetzt, der Größe der Reizungsfläche proportional wachsen muß, wenn die Intensität der Druckempfindung konstant bleiben soll. Sind nämlich zwei gleich große und gleich empfindliche Felder in einiger Entfernung voneinander demselben Drucke unterworfen, so hat man zwei gleich starke, nur verschieden lokalisierte Druckempfindungen. Nähern sich die Reizungsfelder bei unveränderter Belastung einander, bis sie schließlich ein Feld von der doppelten Größe ausmachen, kann die Empfindung deshalb nicht ihre Stärke verändern. Es können zwar Störungen entstehen, indem sowohl die peripheren als die zentralen Vorgänge sich gegenseitig beeinflussen; im großen und ganzen muß es sich aber zeigen, daß *die Stärke der Druckempfindung von der Größe der Reizungsfläche unabhängig ist, wenn der Druck pro Flächeneinheit konstant gehalten wird.* Durch Messungen habe ich die relative Gültigkeit dieses Satzes bestätigt.

Die experimentelle Prüfung des erwähnten Satzes ist nicht ganz leicht. Aus dem Meißner'schen Versuche ist ersichtlich, daß der Druck nur an der Grenze der Reizungsfläche merklich wird, wenn jeder Punkt der Fläche demselben Drucke unterliegt. Bei der Berührung eines Gegenstandes merken wir aber gewöhnlich den Druck überall, wo die Berührung stattfindet, weil die Haut sich an den Gegenstand nicht vollständig anschmiegen kann, so daß von Punkt zu Punkt Druckunterschiede entstehen. Handelt es sich also darum, Druckempfindungen von verschiedenen Hautflächen zu vergleichen, muß dafür Sorge getragen werden, daß der Druck auf diese

Flächen möglichst gleichartig wird. Ich wählte daher als Reizungsfläche die Mitte des Handtellers, wo die Gewichte, kleine zylindrische. mit Korkstöpseln geschlossene Gefäße aus starkem Papier, sukzessiv aufgesetzt wurden. Das kleinere Gefäß war 15 mm, das größere 31 mm in Diameter, die Flächen mithin 254, resp. 711 mm^2; mittels bleierner Hagel wurden die Gewichte der Gefäße variiert. In einer Versuchsreihe wurde das große Gefäß von 56 g Gewicht (also 78,8 mg pro mm^2) zuerst aufgesetzt, und das Gewicht des kleineren variiert. Aus 160 nach der Konstanzmethode ausgeführten Bestimmungen ergab sich 19,39 g oder 76,4 mg pro mm^2 als der wahrscheinliche, dem großen Gewichte gleich beurteilte Wert. In einer anderen Versuchsreihe wurde das kleine Gefäß von 20 g Gewicht (mithin ebenfalls 78,8 mg pro mm^2) zuerst aufgesetzt, und das Gewicht des größeren variiert. Auf dieselbe Weise wie früher ergab sich 46,0 g oder 64,7 mg pro mm^2 als der wahrscheinliche Wert. Der Druck pro Flächeneinheit war also nicht völlig konstant; das zuerst aufgesetzte Gewicht mußte stets etwas größer als das zuzweit aufgesetzte sein, um dieselbe Druckempfindung zu geben, was übrigens den Erfahrungen auf anderen Sinnesgebieten entspricht (Kap. 56). Wir können indes auf die sehr komplizierten Verhältnisse bei diesen Versuchen hier nicht näher eingehen; die Versuche bestätigen jedenfalls den aufgestellten Satz mit so großer Genauigkeit, wie überhaupt zu erwarten stand.

Über die Abhängigkeit der Druckempfindungen von der *Dauer des Reizes* liegen eingehendere Untersuchungen nicht vor. Die Empfindung geht sofort mit der Reizung einher und hört, jedenfalls bei mäßiger Reizstärke, mit der Reizung wieder auf; das Nachbild dauert also unter diesen Umständen äußerst kurz. Man hat das schnelle Sinken des Nachbildes auf die Weise zu ermitteln versucht, daß man schwingende Stimmgabeln auf die Haut hat einwirken lassen, um die Schwingungszahl zu finden, bei der die einzelnen Stöße eben nicht verschmelzen [1]). An den empfindlichsten Stellen der Fingerspitzen findet man, daß das Schwirren einer Stimmgabel von etwa 1000 Schwingungen noch merklich ist. Trägt man aber Sorge dafür, daß die Haut von den tieferen Stimmgabeln, deren Amplitude bedeutend größer ist als die der höheren, nicht wesentlich stärker berührt wird als von den höheren, besteht auch kein merklicher Unterschied zwischen dem Schwirren der verschiedenen Gabeln. Meines Erachtens sind es daher gar nicht die Schwingungen der Gabelzinken, sondern die Eigenschwingungen der Haut, die die schwirrende Empfindung verursachen. Die Haut wird wie eine schwach gespannte Membran in Bewegung gesetzt und schwingt so weit aus, daß

[1]) Sergi, Zeitschr. für Psychol. Bd. 3. S. 175.

die Stimmgabel sie einen Augenblick nicht berührt; sie kehrt dann in ihre Gleichgewichtslage zurück, wird aber wiederum von der Gabel berührt usw. Wenn die Schwingungszahl der Gabel größer als die der Haut ist, wird die Anzahl der Stöße pro Sekunde hauptsächlich durch die letztere bestimmt, die wahrscheinlich 50—70 nicht überschreitet.

Nach längerer Dauer eines stärkeren Druckes besteht ein Druckbild, eine Deformation der Haut, die nur langsam verschwindet. Die Empfindung, die das Druckbild erregt, ist indes zumeist nur schwach, denn der Drucksinn ermüdet sehr schnell. Dauernde, nicht gar zu starke Drucke werden bald unmerklich; selbst an einen schweren Rucksack gewöhnt man sich schnell.

Die *Stichempfindungen* sind, aus den schon oben angeführten Gründen, als ein besonderes Sinnesgebiet aufzufassen. Von den Druckempfindungen unterscheiden sie sich übrigens noch in mehreren anderen Beziehungen; die wesentlichsten derselben sollen hier angeführt werden.

Die Reizschwelle der Stichempfindung ist etwa 1000 Mal größer als die der Druckempfindung, wenn der Druck auf größere Flächen, 3 bis 12 mm², einwirkt[1]). Wir sahen aber schon oben, wie die Reizschwelle des Drucksinns, wenn die Reizfläche kleiner als 0,4 mm² wird, sehr schnell ansteigt und bald wieder eine beträchtliche Größe erreicht. Die Reizschwelle der Stichempfindungen nimmt dagegen mit abnehmender Reizfläche fortwährend ab, so daß sie, wenn die Reizung mit sehr feinen Spitzen ausgeführt wird, unter die Schwelle der Druckempfindungen hinabsinken kann. Mit einem Stichreizhaare, dessen Druck in den Druckpunkten unmerklich ist, kann man in den empfindlichen Stichpunkten der Schläfengegend lebhafte Stichempfindungen erregen.

Die Stichempfindungen können nicht nur durch Druck, sondern auch durch Wärme, Kälte, elektrische und chemische Reizung erregt werden. Unabhängig von der Art der Reizung können die hervorgerufenen Stichempfindungen eine beträchtliche Stärke erreichen und sind dann gewöhnlich unlustbetont, schmerzlich. (Vgl. Kap. 48.) Die Druckempfindungen können zwar auch durch elektrische Reize (Induktionsströme) erregt werden, erfordern aber stärkere Ströme als die Stich-

[1]) Frey: Untersuchungen über die Sinnesfunktionen. 1896. S. 83.

empfindungen; thermische und chemische Reizung der Druckpunkte scheint dagegen erfolglos zu sein.

Da die Organe der Stichempfindungen für die verschiedenen Arten der Reize zugänglich sind und außerdem für elektrische Reizung eine relativ niedrige Reizschwelle besitzen, ist es sehr wahrscheinlich, daß die betreffenden Sinnesorgane der Oberfläche der Haut näher liegen als die übrigen Sinnesorgane der Haut. Da man nun ferner zwischen den Druckpunkten, wo die Stichpunkte vorkommen, in der Oberhaut die zahlreichen frei endigenden Nervenfasern findet, so ist es anzunehmen, daß eben diese Endigungen die Organe der Stichempfindungen sind. Ausgeschlossen ist es jedoch nicht, daß auch die zwischen Oberhaut und Lederhaut liegenden Merkelschen Tastzellen zu den Stichempfindungen in Beziehung stehen.

Eine einfache Folge des langsamen Entstehens und Abklingens, das die Stichempfindungen charakterisiert, ist die Summation wiederholter Erregungen. Diese Summation ist leicht zu beobachten, wenn man ein Stichreizhaar nimmt, dessen Druck in einem Stichpunkte eben an der Grenze der Merklichkeit liegt. Wird die Reizung mehrmals, 1 bis 2 Mal in der Sekunde, wiederholt, so wird die Empfindung immer stärker, erreicht meistens ihr Maximum nach dem Aufhören der Reizung und tritt dann stets als Kitzel hervor. *Die Kitzelempfindungen scheinen somit durch Summation wiederholter, untermerklicher oder ebenmerklicher Erregungen der Stichpunkte zu entstehen.* Hiermit stimmt es sehr gut überein, daß diejenigen Partien der Haut (die Schläfen, die Stirn, die Nasenflügel usw.), die durch sanftes Streichen besonders leicht gekitzelt werden können, auch besonders niedrige Schwellenwerte der Stichreize haben. Gegen die hier vertretene Auffassung von der Natur des Kitzels spricht nun, dem Anschein nach, die Tatsache, daß Kitzelempfindungen leicht an den behaarten Partien der Haut durch Streichen in der Richtung der Haare hervorgerufen werden. Hierdurch wird jedenfalls eine Abhängigkeit des Kitzels von den Druckpunkten wahrscheinlich gemacht, und trotz der nahen Verwandtschaft des Kitzels und des Juckens geht deshalb die allgemeine Auffassung der Forscher vorläufig wohl dahin, daß der Kitzel eine komplizierte Erscheinung sei, die von den Druckpunkten aus erregt wird. Es ist besonders das Fortdauern der Kitzelempfindung nach dem Aufhören der Reizung, das zur Annahme von mitwirkenden vaso-

motorischen Reflexen u. ä. geführt hat, wodurch es allerdings völlig unerklärt bleibt, warum eben die leisesten Berührungen solche sekundären Erscheinungen herbeiführen, die stärkeren dagegen nicht [1]). Es sind denn auch alle solche Annahmen überflüssig: Kitzelempfindungen können von den Stichpunkten aus erregt werden, und es ist eben eine Eigentümlichkeit dieser Sinnesorgane, lange dauernde Nachempfindungen zu erzeugen. Daß der Kitzel durch ein leichtes Streichen der feineren Haare entstehen kann und häufig entsteht, ist gar nicht für die Erregung der Druckpunkte entscheidend. Man findet sehr oft Stichpunkte in der unmittelbaren Nähe der Druckpunkte, so daß durch das erwähnte Verfahren eine minimale Erregung der ersteren sehr wohl möglich ist. Durch die Summation dieser minimalen Erregung entsteht dann die Kitzelempfindung.

Daß das Jucken ebenfalls von den Stichpunkten aus, nur durch stärkere Reize, erregt wird und somit eigentlich ein hochgradiger Kitzel ist, wurde schon oben (S. 324) dargetan; es wird noch durch die folgende Tatsache bestätigt. In pathologischen Fällen kann die Stichempfindlickeit an größeren oder kleineren Partien der Haut aufgehoben sein, und dann läßt sich auf eben diesen Partien auch kein Jucken erregen [2]).

Von der Gefühlsbetonung der Kitzel-, Juck- und Stichempfindungen sowie von den verschiedenen Arten der Schmerzen wird erst weiter unten (Kap. 48) die Rede sein.

Einundvierzigstes Kapitel.

Die Temperaturempfindungen.

Die Kälte- und die Wärmeempfindungen entstehen, wie wir oben sahen, zweifellos durch die Reizung zwei verschiedener Gruppen von Organen; vom physiologischen Gesichtspunkte aus liegen somit zwei verschiedene Sinne vor. Die psychologische Analyse dagegen zeigt, daß gleichzeitige Kälte- und Wärmeempfindungen zu unzerlegbaren Komplexen verschmelzen können, so daß die Temperaturempfindungen vom psychologischen Gesichtspunkte aus nur eine Modalität bilden.

[1]) Thunberg: Kitzel und Jucken. Nagels Handbuch. Bd. 3. S. 705.

[2]) Török: Das Wesen der Juckempfindung. Zeitschr. für Psychol. Bd. 46. S. 30.

Aller Wahrscheinlichkeit nach gibt es also nur eine gemeinsame, zentrale Sinnessphäre, was den im folgenden darzustellenden Tatsachen denn auch nicht widerspricht. Ein optisches Analogon hierzu würde man haben, wenn, bei unveränderter zentraler Anordnung, die beiden Sehstoffe eines Dikromaten nicht in denselben, sondern in verschiedenen Zapfen vorkämen, die außerdem etwas voneinander entfernt wären. Die isolierte Reizung jeder Zapfenart würde dann je ihre besondere Farbenempfindung, die gleichzeitige Reizung beider Arten dagegen unzerlegbare Mischfarben ergeben.

Welche von den oben erwähnten anatomischen Bildungen in der Haut den Kälte- und den Wärmepunkten entsprechen, ist noch recht unsicher. Da die Kältepunkte relativ leicht zugänglich und erregbar sind, liegen sie wahrscheinlich der Oberfläche verhältnismäßig nahe, während die schwierig aufzufindenden Wärmepunkte gewiß tiefer liegen. Man vermutet daher, daß die Krause'schen Endkolben den Kältepunkten, die Ruffini'schen Nervenendigungen den Wärmepunkten entsprechen; sicher ist dies aber keineswegs [1]).

Der adäquate Reiz der Temperaturorgane ist eine Erwärmung oder Abkühlung der Haut, und zwar erregen die beiden Temperaturveränderungen sowohl die Wärme- als die Kältepunkte. Ein Körper, der die Sinnesorgane weder erwärmt noch abkühlt, wird weder warm noch kalt empfunden. Die betreffende Temperatur heißt die *Indifferenztemperatur* oder der *physiologische Nullpunkt* der Wärme; sie liegt gewöhnlich um 28—29 ° C, kann aber, wie wir später sehen werden, erheblichen Schwankungen unterworfen sein.

Um die Wirkung adäquater Reize auf die Temperaturorgane untersuchen zu können, benutzt man gewöhnlich einen Konus aus dünnem Metallblech, der mit einem Zufluß- und einem Abflußrohr versehen ist, so daß er, von kaltem oder warmem Wasser durchströmt, auf einer konstanten Temperatur gehalten werden kann. Größere Kältegrade, bis etwa —10 ° C, werden leicht erzielt, wenn der Konus mit Äther gefüllt und ein Luftstrom hindurchgetrieben wird.

Gehen wir von normaler Indifferenztemperatur aus, läßt sich mittels eines solchen Apparates feststellen, daß eine Wärmeempfindung in den empfindlichsten Wärmepunkten schon bei 40—42 ° C entsteht; mit wachsender Temperatur

---

[1]) Vgl. Thunberg in Nagels Handbuch. Bd. 3. S. 656.

wird einerseits die Empfindung stärker, andererseits die Zahl der nachweisbaren Wärmepunkte größer. Steigt die Temperatur über 60° C, werden auch die Stichpunkte erregt, wodurch die schwächeren Wärmeempfindungen übertäubt werden, so daß sich keine ferneren Wärmepunkte finden lassen. In den empfindlicheren Wärmepunkten kann auch durch Abkühlung eine sogenannte *paradoxe Wärmeempfindung* erregt werden. Diese Empfindung ist jedoch so schwach, daß sie unter normalen Umständen von den fast unvermeidlichen, gleichzeitig erregten Stich- und Kälteempfindungen meistens übertäubt wird. Wenn man aber die Hand 1—2 Minuten in Wasser von 8° C hält, wird die Empfindlickeit der Druck-, Kälte- und Stichorgane durch die Kälte so stark herabgesetzt, daß diese Organe einige Zeit nachher selbst durch starke Reize kaum erregbar sind, und die wenigstens bis auf —2° C abgekühlte Spitze des Konus ruft dann eine dumpfe Wärmeempfindung hervor. Der Versuch gelingt nicht mit jedem Wärmepunkt, indem wahrscheinlich die der Oberfläche näher liegenden Punkte ebenfalls durch die vorhergehende Abkühlung unempfindlich werden können. Hat man aber im voraus eine größere Anzahl Wärmepunkte markiert, finden sich doch immer einige derselben, die mit einer deutlichen paradoxen Wärmeempfindung reagieren.

Das Auffinden der Kältepunkte ist viel leichter als das der Wärmepunkte; mit dem auf 10—12° C abgekühlten Konus können fast alle Kältepunkte bestimmt werden. Bei niedrigerer Temperatur wächst die Stärke der Empfindung; es gibt zwar Kältepunkte, die so empfindlich sind, daß sie schon bei schwacher Reizung eine eisige Empfindung geben, bei stärkerer Abkühlung tritt diese Empfindung aber leicht hervor. Durch Erwärmung tritt die *paradoxe Kälteempfindung* leicht auf; eine bestimmte Temperaturgrenze anzugeben ist kaum möglich, da schon der Druck des Konus, ohne irgendwelche Temperaturveränderungen, in vielen Fällen ausreicht, um Kälteempfindungen zu erregen.

Auch Wärmeempfindungen können bisweilen, in einzelnen Punkten, durch Druck hervorgerufen werden, und die beiden Arten von Temperaturorganen können außerdem durch Induktionsströme erregt werden.

Wenn größere Partien der Haut Temperaturveränderungen unterliegen, haben wir im allgemeinen entweder eine Kälte- oder eine Wärmeempfindung, nicht die beiden gleichzeitig. Daß eine Abkühlung nur eine Kälteempfindung erregt, ist leicht

verständlich, da die möglicherweise entstehenden Wärmeempfindungen so schwach sind, daß sie von den stärkeren Kälteempfindungen übertäubt werden. Bei sehr niedriger Temperatur entstehen übrigens neben den Kälteempfindungen eigentümliche, stechende oder prickelnde Empfindungen, die wahrscheinlich von der Erregung der Stichorgane herrühren. Eine geringe Erwärmung der Haut wird nur als Wärme empfunden; bei höherer Temperatur tritt dagegen die sogenannte *Hitzeempfindung* auf, die zweifellos ihren besonderen Charakter durch die hinzutretenden paradoxen Kälteempfindungen erhält. Daß es sich so verhält, läßt sich erstens direkt beobachten, wenn dicht nebeneinander liegende Kälte- und Wärmepunkte gleichzeitig durch Abkühlung resp. Erwärmung gereizt werden; dann tritt auch die Hitzeempfindung ein. Zweitens zeigt sich die paradoxe Kälteempfindung als Komponente der Hitzeempfindung dadurch, daß die Schwellenwerte und Reaktionszeiten der beiden Empfindungen übereinstimmen [1]). Die Hitzeempfindung ist also zweifellos ein Komplex; durch psychologische Analyse läßt sie sich jedoch nicht zerlegen, so daß die beiden peripher getrennten Sinne sich hier wie eine Modalität verhalten. — Bei noch höherer Temperatur treten zur Hitzeempfindung noch die Stichempfindungen, und die Wärme wird dann bald schmerzlich. (Kap. 48.)

Da in den Kältepunkten, unabhängig von der Art der Reizung, nur Kälteempfindungen, und in den Wärmepunkten ebenfalls nur Wärmeempfindungen entstehen, verhalten sich also die beiden Sinnesgebiete wie zwei verschiedene Modalitäten, denen verschiedene zentrale Sinnessphären entsprechen. Im Gegensatz hierzu steht dem Anschein nach die Tatsache, daß Kälte- und Wärmeempfindungen unter gewissen Umständen eine unzerlegbare neue Qualität, die Hitzeempfindung, bilden können. Dieser Widerspruch läßt sich wohl auf mehrere Weisen beseitigen. Gibt es zwei verschiedene zentrale Sinnessphären, die sich nur sehr nahe liegen, ist die Möglichkeit wohl nicht auszuschließen, daß die gleichzeitige Reizung von Sinnespunkten, die sich nahe liegen, einen einheitlichen zentralen Vorgang, und mithin eine qualitativ neue Empfindung erregen kann. Es ist aber auch möglich, daß die Temperaturempfindungen in einer gemeinsamen zentralen Sinnessphäre entstehen, und daß die Unabhängigkeit der Empfindungen von der Art der Reize dann vom Bau der Sinnesorgane herrührt. Daß z. B. sowohl Erwärmung als Abkühlung die beiden Temperaturorgane reizen können, ist nicht besonders merkwürdig; eine solche gleichartige Wirkung entgegengesetzter

---

[1]) Alrutz: Untersuchungen über die Temperatursinne. Zeitschr. für Psychol. Bd. 47. S. 162 u. 241.

Temperaturveränderungen ist in der unorganischen Natur auch nicht unbekannt. Sowohl das Wasser als die Rosesche Legierung erreichen ihr Maximum der Dichtigkeit bei einer bestimmten mittleren Temperatur, so daß sie sich von hier aus sowohl bei Abkühlung als bei Erwärmung ausdehnen. Mit den Vorgängen der Sinnesorgane mehr verwandt ist die Erscheinung, daß eine Lösung von Glaubersalz in Wasser das Maximum der Konzentration bei 33 ° C hat; bei Abkühlung kristallisiert das wasserhaltige Salz aus, bei Erwärmung aber zersetzt sich das Salz, und wasserfreies Salz wird ausgeschieden. Es ist also durchaus nicht ohne Analogien, daß komplizierte Eiweißstoffe sowohl durch Erwärmung als durch Abkühlung zersetzt werden können und dadurch dieselben zentralen Vorgänge erregen.

Die *Dauer der Reizung* ist in vielfacher Beziehung von Bedeutung. Die Kälteempfindung tritt fast augenblicklich mit der Reizung ein; die tiefer liegenden Wärmepunkte dagegen können, wegen der schlechten Wärmeleitung der Haut, nicht sogleich erwärmt werden. Bei punktueller Reizung dauert es daher oft bis 1 Sek. nach dem Aufsetzen der heißen Spitze, ehe die Wärme empfunden wird. Wenn eine starke Abkühlung oder Erwärmung einer größeren Hautpartie nach 1—2 Sek. Reizdauer unterbrochen wird, wächst die Empfindung fast immer nach dem Aufhören der Reizung, um darauf in wenigen Sekunden abzuklingen. Diese Erscheinung läßt sich gewiß auch zum Teil durch das geringe Leitungsvermögen der Haut erklären. Während der kurzen Reizung wird nämlich nur die äußerste Schicht der Haut stark erwärmt, bzw. abgekühlt, und indem die Temperatur sich nach dem Aufhören der Reizung ausgleicht, steigt, resp. sinkt, dann die Temperatur der Sinnesorgane noch ferner. Völlig ausgeschlossen ist es natürlich nicht, daß ein Nachbild der Empfindung erst abklingt, nachdem Temperaturgleichgewicht eingetreten ist.

Bei dauernder Reizung tritt früher oder später, je nach der Stärke des Reizes, Temperaturgleichgewicht zwischen den tieferen und den äußeren Schichten der Haut ein, und die Empfindung hört damit auf. Die Indifferenztemperatur ist jetzt verschoben; die Sinnesorgane sind für die betreffende Temperatur adaptiert, und mithin im Verhältnis zum früheren Zustand *umgestimmt.* Ist die Hand z. B. für eine Temperatur von 12 ° C adaptiert, wird ein Körper von 13 ° C, der normal als recht kalt empfunden wird, als warm aufgefaßt. Wird andererseits die Hand an 39 ° C adaptiert, so wird ein Körper von 38 ° C, der sonst recht warm ist, kalt empfunden.

Durch die Schmerzlichkeit sehr starker Reize wird der Untersuchung dieser Adaptationserscheinungen eine Grenze gesetzt. Gelingt es aber, die Schmerzen zu überwinden, hört auch schließlich die Empfindung auf, z. B. nach etwa 3 Min., wenn die Hand in Wasser von 5° C gehalten wird. Dann ist aber auch die Empfindlichkeit der verschiedenen Sinnesorgane mehr oder weniger herabgesetzt. [1])

Wird eine Hautpartie etwa 1 Min. auf 8–10° C abgekühlt, bemerkt man nach dem Aufhören der Reizung, daß die Kälteempfindung bald verschwindet, um dann gleich wieder mit größerer Stärke einzusetzen. Diese *sekundäre Kälteempfindung* klingt dann in 10—20 Sek. ab. Die Erscheinung tritt besonders deutlich an der Stirn, dem Kinn oder Handrücken, dagegen kaum an den muskulösen Teilen des Körpers hervor. Die sekundäre Kälteempfindung ist daher wahrscheinlich als eine durch die Erwärmung von innen entstehende, paradoxe Kälteempfindung aufzufassen. Wo keine Weichteile unter der Haut liegen, wird diese relativ stark abgekühlt, wozu auch die Verengerung der Blutgefäße durch den Druck des kalten Körpers beiträgt. Nach dem Aufhören des Druckes strömt das Blut schnell der kalten Haut zu, die so erwärmt wird, daß die Kältepunkte mit einer Kälteempfindung reagieren. [2])

V. Die Organempfindungen.

Zweiundvierzigstes Kapitel.

Die Organempfindungen im allgemeinen.

Allen bisher erwähnten Empfindungen ist es gemeinsam, daß sie durch äußere Reize, durch Vorgänge in den Umgebungen des Körpers hervorgerufen werden, indem diese äußeren Vorgänge an bestimmten Stellen, den Sinnesorganen, die Sinnesnerven erregen. Die jetzt zu behandelnden Empfindungen dagegen werden durch keine äußeren Reize, sondern ausschließlich durch Vorgänge im Innern des Körpers ausgelößt. Wenn äußere Reize überhaupt daran beteiligt sind,

---

[1]) Goldscheider (Gesamm. Abhandlungen. Bd. 1. 1895. S. 285) findet absolute Kälteanästhesie bei 17—18° C Hauttemperatur.

[2]) Alrutz: Undersökningar öfver smärtsinnet. Upsala 1901. S. 113.

wirken sie nicht direkt auf ein Sinnesorgan ein; es sind die durch die äußeren Reize verursachten körperlichen Veränderungen, die oft weit vom Reizungsorte entfernt die inneren Empfindungen erregen. Die Organempfindungen werden daher auch nie auf die Dinge der Außenwelt bezogen, als Eigenschaften derselben aufgefaßt, sondern treten stets als Zustände des eigenen Körpers hervor. Hört man das Zischeln einer Schlange, wird es als etwas der Schlange Angehöriges, als eine Eigentümlickeit des Tieres aufgefaßt; die Empfindung, daß es einem dabei kalt über den Rücken läuft, ist dagegen nur ein Zustand des eigenen Körpers.

Da die Organe der inneren Sinne sich durchweg der direkten Reizung entziehen, sind unsere Kenntnisse von diesen Sinnesgebieten noch recht lückenhaft. Zwar kann die psychologische Analyse eine Reihe verschiedener Empfindungen nachweisen; die Lage der Organe dieser Empfindungen sind aber in vielen Fällen gar nicht leicht festzustellen. Hierzu trägt noch der Umstand bei, daß die Empfindungen teils miteinander, teils mit den Druckempfindungen der Haut schwer zerlegbare Komplexe bilden. Es herrscht daher noch keineswegs darüber Einigkeit, wie viele Arten einfacher Empfindungen es eigentlich gibt; gewisse Empfindungen werden von einigen Forschern als besondere Arten, von anderen dagegen als komplexe Gebilde aufgeführt. Die systematische Darstellung dieser Sinnesgebiete leidet somit vorläufig an einer nicht geringen Unsicherheit.

Die Organempfindungen zerfallen in zwei Hauptgruppen: 1. Empfindungen, die durch die Lage und Bewegung des Körpers und der Glieder erregt werden, und 2. Empfindungen, die von den vegetativen Vorgängen herrühren. Die ersteren werden gewöhnlich als *kinästhetische* Empfindungen, die letzteren als *Organempfindungen im engeren Sinne* bezeichnet. Da die letzterwähnte Benennung aber die besondere Natur der betreffenden Empfindungen gar nicht angibt, ziehe ich es vor, sie als *Empfindungen der vegetativen Vorgänge* zu bezeichnen.

Die kinästhetischen Empfindungen sind verschiedener Art. Erstens empfinden wir sowohl die *Veränderungen der passiven Bewegungen* des Körpers als die *Lage*, die Orientierung desselben im Raume, und da die Lage des Körpers als Ganzes völlig unabhängig von seiner Ruhe oder Bewegung ist, müssen hier zwei ganz verschiedene Arten der Empfindungen an-

genommen werden. Ferner werden *die Bewegungen und die Lage der einzelnen Glieder* empfunden; da aber die Bewegung eines Gliedes nur zustande kommen kann, wenn seine Lage zum Gesamtkörper sich verändert, handelt es sich hier wahrscheinlich nur um eine Art Empfindung. Schließlich haben wir neben der Bewegungs- oder Lageempfindung der Glieder eine Empfindung der *Muskelspannung* oder Anstrengung, die die Ausführung einer Bewegung oder Innehaltung einer Lage erfordert. Diese Spannungsempfindung wird oft als *Widerstandsempfindung* bezeichnet, und hiervon unterscheidet man zuweilen noch die *Schwereempfindung* als eine besondere Art. Ob eine Muskelspannung aber durch ein zu hebendes Gewicht oder durch irgendeinen anderen Widerstand herbeigeführt wird, kann die Spannungsempfindung als solche nicht beeinflussen. Besteht wirklich ein Unterschied zwischen der Widerstands- und der Schwereempfindung, kann es sich nur um Komplikationen der Spannungsempfindung mit Bewegungs- und Druckempfindungen handeln. Ähnliche Komplexe sind die Empfindungen der *Rauhigkeit* und der *Glätte* einer Oberfläche, die nur in extremen Fällen durch Druckempfindungen allein entstehen; wenn dagegen Druck-, Bewegungs- und Spannungsempfindungen zusammenwirken, können sehr feine Unterschiede empfunden werden.

Die Empfindungen der vegetativen Vorgänge, denen eine sehr große Bedeutung in gewissen komplexen Bewußtseinserscheinungen zugeschrieben wird, sind dennoch fast gar nicht untersucht. Die Existenz solcher Empfindungen im Innern des Körpers wird sogar oft in Abrede gestellt; man nimmt dann an, daß die normalen Vorgänge empfindungsfrei sind, während die krankhaften Veränderungen der Prozesse Schmerzen hervorrufen. Dieser Behauptung liegen jedoch nur oberflächliche Beobachtungen zugrunde; wenn man aufmerkt — was man aber im täglichen Leben unter normalen Verhältnissen eben nicht tut — zeigen sich die vegetativen Vorgänge von zahlreichen, wahrscheinlich aber sehr komplizierten Empfindungen begleitet. Von einer Analyse dieser Komplexe kann bei der jetzigen Sachlage kaum die Rede sein; wir unterscheiden daher vorläufig nur die fünf Gruppen: die von der Verdauung, der Sekretionen, der Atmung, dem Blutkreislaufe und der Zeugung herrührenden Empfindungen.

Dreiundvierzigstes Kapitel.

Die Empfindungen der Lage und der Bewegung des Körpers.

Die *Empfindung der Lage.* Zur Auffassung der Orientierung des Körpers gegen die Vertikale tragen mehrere Empfindungen bei. Liegt man auf einem gut gepolsterten, mit einem Fußbrett versehenen Zapfenbrett, das sich um eine horizontale Achse drehen kann, hat man zunächst die Empfindung des Druckes gegen die Unterlage, die mit der Körperstellung wechselt. Je mehr die Körperstellung sich der Vertikalen nähert, um so größer wird der Druck gegen die Fußsohlen und um so geringer gegen den Rumpf. Hierzu kommt noch, daß man die Verschiebungen zwischen den Kleidern und der Haut und das Gleiten des Körpers auf der Unterlage empfindet. Ferner entstehen bei großen Veränderungen der Körperlage gewisse Empfindungen in den Gelenken; wird der Kopf tiefer als die Füße gestellt, merkt man den Blutandrang zum Kopfe. Diese verschiedenen Empfindungen können indes fast zum Verschwinden gebracht werden, wenn der Körper entweder auf der weichen Unterlage sehr bequem ruht oder an das Zapfenbrett festgebunden wird, so daß der Druck in jeder Stellung bedeutend größer ist, als er durch die Schwere allein zustande gebracht werden konnte. Obwohl also, besonders im letzteren Falle, die Druckunterschiede der verschiedenen Stellungen fast verschwinden, hat man dennoch mit geschlossenen Augen eine deutliche Empfindung von der Stellung des Körpers gegen die Vertikale [1]).

Noch deutlicher tritt diese besondere Lageempfindung, unabhängig von allen Druckempfindungen, hervor, wenn man mit geschlossenen Augen unter dem Wasser schwimmt. Der Druck des Wassers gegen den Körper ist hier so gleichmäßig, daß Unterschiede überhaupt kaum empfunden werden; dennoch kennt man, wie man auch den Körper dreht, sehr genau die Lage gegen die Vertikale, ob man sich, während des Vorwärts- oder Rückwärtschwimmens, der Oberfläche nähert oder davon entfernt. Diese Lageempfindung geht aber vielen Taubstummen ab, so daß das Untertauchen ihnen sehr ge-

---

[1]) Nagel: Die Lage-, Bewegungs- und Widerstandsempfindung. Handbuch. Bd. 3. S. 735.

fährlich werden kann. Da Taubstummheit nun in vielen, aber keineswegs in allen Fällen auf Krankheiten im inneren Ohr beruht, ist es jedenfalls recht wahrscheinlich, daß das Organ der Lageempfindung im inneren Ohr zu suchen ist[1]).

Es findet sich nun tatsächlich im Labyrinth ein Organ, dessen Bau vermuten läßt, daß es von der Schwere beeinflußt werden und somit die Empfindung der Lage gegen die Vertikale vermitteln kann. Wie schon oben erwähnt (S. 270), liegen in den Säckchen des Vorhofs die Otolithen, von zusammengefilzten feinen Härchen getragen, die ihrerseits wieder mit den Nervenfasern in Verbindung stehen. Die Otolithen können in bestimmten Richtungen gleiten; beim Menschen kommen auf jeder Seite des Kopfes zwei Otolithen vor, deren Gleitrichtungen beinahe einen rechten Winkel miteinander bilden. Je nach der Haltung des Kopfes nehmen die Otolithen eine besondere Lage ein und erregen dadurch die Fasern des Vestibularnerven. Während einige Forscher der Ansicht sind, daß hierdurch nur Empfindungen der größeren oder geringeren Neigung gegen die Vertikale entstehen[2]), nehmen andere an, daß auch die Empfindung der geradlinigen Bewegung durch die Verschiebung der Otolithen hervorgerufen werde[3]). Eine Entscheidung dieser Frage ist wohl vorläufig nicht möglich.

Daß das Otolithenorgan wirklich auf die angegebene Weise funktioniert, ist zwar am Menschen nicht direkt erwiesen, dagegen hat man bei Tierversuchen nachgewiesen, wie nach Exstirpation der Otolithen die Tiere dem Anschein nach die Empfindung der Körperlage verlieren. Während z. B. ein normaler Haifisch nur auf dem Bauche schwimmt und sofort diese Lage wieder einnimmt, wenn man ihn mit Gewalt aus derselben gebracht hat, läßt sich das otolithenlose Tier in jede beliebige Lage bringen und schwimmt sogar auf dem Rücken[4]). Bei einem Krebse ist es gelungen, statt der Otolithen sehr feines Eisenfeilsel hineinzubringen, wonach sich die Lage des Tieres durch einen Elektromagneten beeinflussen ließ. Da die Anziehung des Magneten in diesem Falle die

[1]) James: American journal of otology. 1887.

[2]) Nagel: a. a. O. S. 798.

[3]) Breuer, Sitzungsbericht der Wiener Akademie, math. naturwissenschaftliche Klasse. Bd. 112. 1903.

[4]) Kreidl: Weitere Beiträge zur Physiologie des Ohrlabyrin s. Sitzungsbericht der Wiener Akademie math. naturw. Klasse. Bd. 101 u. 102. 1892—93.

Schwere vertrat, drehte das Tier stets den Rücken vom Magneten weg.

Mittels des Otolithenorgans empfinden wir also wahrscheinlich die größere oder geringere Abweichung des Körpers von der vertikalen Lage. Selbstverständlich besagen diese Empfindungen nichts von der Winkelgröße der Neigung. Wenn man diese Größe mit geschlossenen Augen einigermaßen genau beurteilen kann, wird es nur durch Kombination der Lageempfindungen mit den Erinnerungsbildern früherer Gesichtswahrnehmungen möglich. Wir haben so oft gleichzeitig mit den Lageempfindungen die Stellung des Körpers im Raume beobachtet, daß wir den Neigungswinkel auch ohne Gesichtswahrnehmungen beurteilen können. Bei genauen Untersuchungen mit dem oben erwähnten Zapfenbrett hat es sich indes herausgestellt, daß man stets gewissen Täuschungen über die Lage unterliegt. Bei völlig senkrechter Stellung glaubt man etwas nach vorn zu neigen; wenn der Kopf tiefer als die Füße liegt, wird diese Neigung bedeutend überschätzt[1]).

Die Empfindung der Bewegung des Körpers kann sowohl bei aktiver als bei passiver Bewegung entstehen; im ersteren Falle spielen aber die Empfindungen der Bewegungen von den Gliedern und den Muskelspannungen eine wesentliche, ja wohl gar die wesentlichste Rolle. Wir betrachten daher hier nur die Empfindungen der passiven Bewegung. *Sie entstehen nur bei Geschwindigkeitsveränderungen; eine völlig gleichmäßige Bewegung wird, bei geschlossenen Augen, überhaupt nicht empfunden,* so daß man sich nach Belieben eine Vorwärts- oder Rückwärtsbewegung vorstellen kann[2]). Durch Versuche mit einer karusselähnlichen Vorrichtung ist es nachgewiesen, daß das erwähnte Gesetz ebensowohl für Drehbewegungen als für Progressivbewegungen gültig ist: nur die Geschwindigkeitsveränderungen werden empfunden. Bei gleichmäßiger Bewegung kann man jedoch die Bewegung in dem Augenblick wieder wahrnehmen, wo der Kopf gedreht wird.

Hört eine passive, dauernde und gleichmäßige Bewegung auf, oder wird sie merklich langsamer, empfindet man eine Bewegung in entgegengesetzter Richtung. Im Eisenbahnzuge bemerkt man wohl selten diese scheinbare Umkehr der Be-

---

[1]) Delage: Studien über die Orientierung. Tübingen 1888.

[2]) Mach: Lehre von den Bewegungsempfindungen. Leipzig 1875.

wegungsrichtung, weil viele andere Empfindungen gleichzeitig auftreten, die die Bewegungstäuschung aufheben; dagegen kann man leicht die Beobachtung machen, wenn man sich schnell aktiv dreht und dann plötzlich die Bewegung anhält. Bei geschlossenen Augen kann die Täuschung so stark werden, daß man taumelt. Es werden nämlich reflektorisch Bewegungen ausgelöst, die der scheinbaren, gegensinnigen Bewegung entgegenwirken, um das Gleichgewicht wieder herzustellen. Da das Gleichgewicht aber nicht gestört ist, so tritt eine Störung erst durch diese reflektorischen Bewegungen ein, und man taumelt in der Richtung der ursprünglichen Drehbewegung. Auf diese Schwindelerscheinungen kommen wir im folgenden zurück.

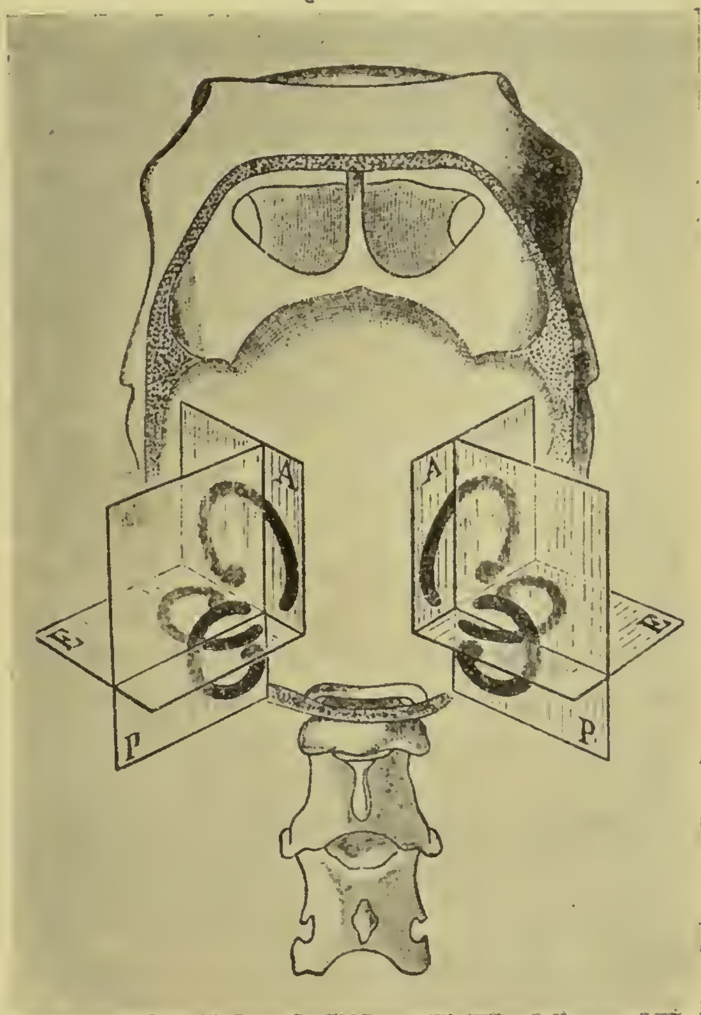


Fig. 57.
Schema der Bogengänge der Taube (nach Ewald).

Der normale Mensch hat also zweifellos besondere Empfindungen der Bewegungsänderungen, und diese Empfindungen können mitunter Täuschungen herbeiführen. Bei vielen Taubstummen aber (etwa bei 36 % von 519 untersuchten Individuen) fehlen die Empfindungen der Umkehr der Bewegung nach Drehungen um die Vertikalachse sowie die damit verbundenen Schwindelerscheinungen. Die Empfindung der Körperbewegungen wird also aller Wahrscheinlichkeit nach von einem im inneren Ohr liegenden Organ vermittelt. Man nimmt jetzt allgemein an, daß dieses Organ die Bogengänge sind, die jederseits in drei aufeinander fast senkrecht

stehenden Plänen liegen und so eine Art Koordinatensystem bilden (vgl. Fig. 57). Wo die Bogengänge mit dem Vorhofe in Verbindung stehen, haben sie flaschenförmige Verdickungen, die Ampullen (Fig. 45 und 46), und hier stehen die Fasern des Vestibularnerven mit den relativ langen Härchen des Sinnesepithels in Verbindung. Wird der Kopf in der Richtung eines Bogenganges bewegt, so bleibt die Endolymphe wegen der Trägheit ein wenig zurück und biegt die Härchen, wodurch die Nerven erregt werden können. Sobald die Bewegung aber gleichmäßig geworden ist, nimmt die Flüssigkeit die Geschwindigkeit der Umgebung an, und die Erregung der Nerven hört auf. Wird die gleichmäßige Bewegung plötzlich merklich langsamer oder gar angehalten, setzt die Flüssigkeit, wegen der Inertie, ihre Bewegung noch etwas fort, und es entsteht dadurch ein Druck auf die Härchen, der dem ursprünglichen entgegengesetzt ist. Psychisch ergibt sich hierdurch die Empfindung einer der bisherigen entgegengesetzten Bewegung, und reflektorisch werden dann die zu beobachtenden objektiven Schwindelerscheinungen ausgelöst.

Diese von Mach, Breuer und Crum Brown aufgestellte Theorie erklärt, wie ersichtlich, alle die oben erwähnten Tatsachen: daß nicht die gleichmäßige Bewegung, sondern nur die Geschwindigkeitsveränderung empfunden wird, daß nach der Bewegung die Empfindung einer gegensinnigen Bewegung entsteht, und daß die Bewegungstäuschung ausbleibt, wenn das Sinnesorgan durch Krankheit funktionsunfähig geworden ist. Fernere Belege für die Richtigkeit der Theorie haben sich aus den Untersuchungen der subjektiven und objektiven Schwindelerscheinungen am Menschen und an verschiedenen Tieren ergeben.

Der Schwindel, von dem hier die Rede ist, ist nur der „Drehschwindel“. Der „Höhenschwindel“, der manche befällt, wenn sie auf hohen Punkten stehend in die Tiefe blicken, ist zweifellos eine reine Suggestivwirkung. Der Anblick des Abgrundes ruft die Vorstellung von einem Fallen in denselben hervor, und diese Vorstellung kann so lebhaft werden, daß sie geradezu den Sprung in die Tiefe verursachen kann. Wird aber nur eine Schnur in der Höhe der Brust ausgespannt, so hört der Schwindel auf, weil man sich sicher fühlt[1]). Der

[1]) Stoll: Suggestion und Hypnotismus in der Völkerpsychologie. 1894. S. 483.

Drehschwindel hat hiermit gar nichts zu tun; er entsteht unter ganz anderen Bedingungen, die übrigens recht verschiedenartig sein können. In den meisten Fällen handelt es sich um eine Reizung der Bogengänge, entweder durch Rotation des Körpers um eine im Körper oder außerhalb desselben liegende Achse oder durch Krankheiten im inneren Ohr, durch Vergiftungen (Alkohol) oder durch einen galvanischen Strom, der von Ohr zu Ohr durchgeleitet wird.

Am einfachsten kann man den Schwindel durch eine schnelle aktive Rotation um die vertikale Achse des Körpers hervorrufen. Die Stärke sowie die subjektiven Erscheinungen des Schwindels sind übrigens individuell recht verschieden. Die oben erwähnte Empfindung der gegensinnigen Bewegung nach dem Anhalten der Rotation tritt bei fast allen normalen Menschen nach Drehung mit geschlossenen Augen hervor, und damit ist schon die eigentümliche Unsicherheit, der Widerstreit, gegeben, der immer den Schwindel charakterisiert. Man empfindet einerseits die — tatsächlich nicht stattfindende — Drehung des Körpers, andererseits das Feststehen der Füße. Um das Gleichgewicht des Körpers herzustellen, wird daher der Oberkörper in die Richtung der ursprünglichen Drehung bewegt, und eben hierdurch wird das Gleichgewicht gestört, so daß man in dieser Richtung taumelt. Noch stärker tritt die Empfindung des Schwindels hervor, wenn die aktive Drehung mit geöffneten Augen so lange fortgesetzt wird, daß die Gegenstände sich selbst zu drehen anfangen. Beim Anhalten wird dann die Empfindung einer gegensinnigen Drehung dadurch verstärkt, daß die Gegenstände sich ebenfalls dem Anscheine nach in umgekehrter Richtung bewegen. Die Gesichtswahrnehmungen spielen überhaupt für das Auftreten des Schwindels eine große Rolle. Es kann z. B. sehr starker Schwindel entstehen, wenn, wie in gewissen Panoramen, die ganze Umgebung sich um die ruhig sitzende Person dreht. *Der Schwindel beruht stets auf einem Widerstreit zwischen den Bewegungsempfindungen des Körpers und den von den übrigen Sinnen herrührenden Empfindungen.*

Sowohl die Lage- als die Bewegungsempfindungen lösen zahlreiche Reflexe aus, wodurch das Gleichgewicht des Körpers gesichert wird. Daß aber auch bisweilen täuschende Bewegungsempfindungen von Reflexen begleitet sind, die das Gleichgewicht stören können, haben wir schon gesehen. Die Augenmuskeln werden auch reflektorisch durch jede Lage-

oder Bewegungsveränderung so beeinflußt, daß die Blickrichtung, so weit möglich, konstant bleibt. Das Zentrum aller dieser Reflexe liegt im Kleinhirn. Fast die ganze willkürliche Muskulatur wird auf diese Weise von dem Vorhofe und den Bogengängen aus beeinflußt. Die Exstirpation des inneren Ohres eines Tieres hat daher beinahe dieselbe Wirkung als die Abtragung des Kleinhirns: Unsicherheit der Bewegung und Schwächung der Muskelkraft (S. 131).

Vierundvierzigstes Kapitel.

Die Empfindungen der Bewegungen der Glieder und der Muskelspannungen.

Werden die Glieder aktiv oder passiv bewegt, empfinden wir bei geschlossenen Augen sowohl die Größe als die Richtung der Bewegung. Unmittelbar unterrichten uns diese Empfindungen nur von der veränderten Stellung des betreffenden Gliedes; wenn wir aber außerdem eine recht genaue Vorstellung von der räumlichen Lage desselben erhalten, beruht es zweifellos darauf, daß wir so oft gleichzeitig die Bewegung gesehen und empfunden haben, daß die Bewegungsempfindung zugleich das Gesichtsbild herbeiführt. Daß es sich wirklich so verhält, geht am deutlichsten daraus hervor, daß die Bewegungen derjenigen Glieder, die man selten oder nie sieht, auch von keiner genauen Vorstellung der räumlichen Lage begleitet sind. Man empfindet sehr deutlich die aktive Bewegung der Zehen; von der wirklichen Stellung derselben während oder nach der Biegung hat man aber keine genaue Vorstellung. Ebenso verhält es sich auch mit der Zunge. Wird sie bei stark geöffnetem Munde bewegt, empfindet man wohl ihre Bewegung, aber nicht ihre Stellung im Verhältnis zur Umgebung; darüber geben uns nur die bei Berührung der Wangen und der Zähne entstehenden Druckempfindungen Auskunft. *Unmittelbar empfinden wir also nur die Größe und die Richtung der Bewegung eines Gliedes;* die Vorstellung von den räumlichen Verhältnissen der Bewegung beruht aber auf anderen Empfindungen, besonders auf Gesichtswahrnehmungen.

Wird z. B. ein Arm in eine sehr bequeme Stellung auf einer weichen Unterlage gebracht oder frei in der Luft herabhängend gehalten, so hat man bei geschlossenen Augen eine bestimmte Lageempfindung, die zumeist, wie die Bewegungs-

empfindung, von Gesichtsvorstellungen der räumlichen Lage begleitet ist. Hält man den Arm sehr ruhig, wird die Lageempfindung bald recht undeutlich; die geringste Bewegung genügt aber, um dieselbe wieder hervorzurufen. Es gibt daher wahrscheinlich keine besonderen Lageempfindungen; *die Lageempfindung ist einfach die Empfindung einer angehaltenen Bewegung.* Sobald daher das Nachbild dieser Empfindung abgeklungen hat, ist auch die Lage unmerklich geworden; durch kleine Bewegungen kann sie aber wieder belebt werden.

Die Bewegungsempfindungen werden oft von Hautempfindungen unterstützt, die von der Dehnung oder Faltung der Haut, von der Reibung der Kleider gegen die Haut usw. erregt werden; sie können aber nicht auf diesen Hautempfindungen beruhen. Eine geringe Bewegung des nackten Arms kann sehr deutlich empfunden werden, obwohl nennenswerte Veränderungen der Haut nicht vorkommen. Hierzu kommt noch, daß die Bewegungsempfindungen nicht an der Oberfläche, sondern im Inneren der Gelenke lokalisiert werden. Besonders an der Beugeseite der Gelenkkapseln liegen aber zahlreiche Vater'sche Körperchen (vgl. S. 325), die die Endigungen der Sinnesnerven bilden; es ist daher sehr wahrscheinlich, daß diese Organe durch Zug oder Druck erregt werden und somit die Bewegungsempfindungen vermitteln. Pathologische Erfahrungen und gewisse Experimente haben diese Annahme über jeden Zweifel erhoben.

In einem von Strümpell beobachteten Fall waren die zentripetalen Nervenbahnen durch einen Stich in das Halsmark unterbrochen, und die Sensibilität des ganzen rechten Arms war daher aufgehoben[1]). Der Patient wußte bei geschlossenen Augen nicht, ob der Arm und die Finger gestreckt oder gebeugt waren, und ebensowenig war er imstande, die Hand in einer bestimmten Stellung zu halten. Während er bei geöffneten Augen die Hand und die Finger in jede beliebige Stellung bringen konnte, war ihm dies bei geschlossenen Augen durchaus unmöglich. Die große Bedeutung der Gelenkempfindungen für die willkürlichen Bewegungen ist hierdurch dargetan; wo diese Empfindungen fehlen, können bestimmte Bewegungen nur unter Kontrolle der Augen ausgeführt werden.

Eine Herabsetzung der Gelenksensibilität läßt sich durch

[1]) Deutsche Zeitschr. f. Nervenheilkunde. Bd. 23. 1902.

Faradisation zustande bringen, wenn die Wechselströme das Gelenk durchsetzen. Es zeigt sich dann, daß die Reizschwelle der Bewegungsempfindungen erheblich steigt. Goldscheider fand, wenn er die beiden letzten Glieder des linken Zeigefingers gegen das innerste Glied passiv bewegen ließ, daß er eine Beugung von 1,5° eben merken konnte. Diese Größe veränderte sich kaum, wenn er die Haut durch Faradisation anästhetisierte. Ging der Strom dagegen durch das gebeugte Gelenk, wuchs die Reizschwelle, die eben merkliche Beugung, auf etwa das Doppelte[1]).

Die *Spannungsempfindungen* treten selten isoliert hervor. Man kann aber, wenn man z. B. einen Arm bewegt, diese Bewegung mit einem größeren oder geringeren Kraftaufwand ausführen, die Faust kann leise oder stark geballt werden usw., und man hat in solchen verschiedenen Fällen neben den unvermeidlichen Druck- und Bewegungsempfindungen außerdem besondere Spannungsempfindungen. Eine genaue Lokalisation dieser Empfindungen ist kaum möglich; da sich aber Endigungen sensibler Nerven sowohl in den Muskeln als in den Sehnen finden, ist es zweifellos berechtigt, anzunehmen, daß eben diese Nerven die Spannungsempfindungen vermitteln.

Die Spannungsempfindungen haben, wie sich leicht nachweisen läßt, einen wesentlichen Anteil an den sogenannten Schwere- und Widerstandsempfindungen. Gesichtswahrnehmungen, Druck- und Lageempfindungen bilden zwar zumeist auch Teilerscheinungen dieser Komplexe; in gewissen Fällen läßt sich die Schwereempfindung aber ausschließlich auf Druck- und Spannungsempfindungen zurückführen. Je den Umständen nach spielen diese verschiedenen Empfindungen bei der Vergleichung gehobener Gewichte eine größere oder geringere Rolle, und da die Verhältnisse bei den psychophysischen Untersuchungen selten gebührend berücksichtigt werden, gehe ich hier etwas näher darauf ein.

Zu Untersuchungen über die Schwereempfindungen eignen sich am besten kubische Behälter, oben mit wagerechten hölzernen Handgriffen versehen. Wenn die Gefäße an der einen, dem Versuchsleiter zugekehrten Seite offen sind, können die darin liegenden Gewichte schnell gewechselt, von der Vp. jedoch nicht gesehen werden; haben die Gefäße übrigens dasselbe Aussehen, können die Gesichtswahrnehmungen bei der Beurteilung der Schwere keine Rolle spielen. Sind die Handgriffe glatt gedrechselt und so ge-

———

[1]) Gesammelte Abhandlungen. Bd. 2. 1898. S. 25.

schweift, daß sie bequem in die Hand fallen, kann man die Bedeutung der Druckempfindungen auf die Weise nachweisen, daß z. B. ein zylindrisches, rauhes Papierrohr an den Handgriff des einen Gefäßes aufgesteckt wird. Ein solcher Handgriff liegt ganz anders in der Hand als der geschweifte, glatte, und dementsprechend verändern sich die Druckempfindungen selbst bei konstanter Belastung des Gefäßes [1]).

Vergleicht man die Größe von zwei nacheinander mit derselben Hand gehobenen Gewichten, und variiert man z. B. das zuzweit gehobene Gewicht, bis es dem zuerst gehobenen gleich erscheint, so findet man, alles übrige gleich, daß dies dem ersteren gleich beurteilte Gewicht ganz erheblich mit den Druckempfindungen variiert. Haben die beiden Gefäße z. B. rauhe, zylindrische Handgriffe, und wiegt das zuerst gehobene 1500 g, wird das zuzweit gehobene unter bestimmten Umständen dem ersteren gleich beurteilt, wenn es 1400 g wiegt. Wird das zuzweit gehobene nun mit einem glatten, geschweiften Handgriff versehen, während das zuerst gehobene unverändert bleibt, so werden die Druckempfindungen, die man vom glatten Handgriff erhält, viel undeutlicher, und subjektive Gleichheit der Gewichte stellt sich erst dann ein, wenn das zuzweit gehobene 1870 g wiegt. Das Gewicht muß also in diesem Falle um ein Drittel größer gemacht werden, damit dieselbe Schwereempfindung erregt wird [2]).

Tragen wir hiernach Sorge dafür, daß die zu vergleichenden Gewichte möglichst gleichartig in die Hand fallen, so zeigen sich die Schwereempfindungen von der Hebungsweise abhängig. Werden die Gewichte ruckweise schnell gehoben und niedergesetzt, können die motorischen Innervationen nicht auf die zu hebenden Gewichte durch die Spannungsempfindungen eingestellt werden. Die Gewichte fliegen in die Höhe, und da die Geschwindigkeit bei demselben Kraftaufwand um so größer wird, je geringer das Gewicht, so wird das schneller emporsteigende Gewicht im allgemeinen für das leichtere gehalten. In diesem Falle werden die Gewichte also fast ausschließlich nach den Bewegungsempfindungen abgeschätzt [3]). Die so ausgeführte Vergleichung muß aber recht ungenau werden, da die sukzessiven Hebungen der zu ver-

---

[1]) Lehmann: Archiv für Psychol. Bd. 6. 1906. S. 427.

[2]) Lehmann: a. a. O. S. 448.

[3]) Müller und Schumann: Über die psychol. Grundlage der Vergleichung gehobener Gewichte. Pflügers Archiv. Bd. 45. 1889.

gleichenden Gewichte mit recht verschiedenen Impulsen gehoben werden können und mithin beträchtliche Schwankungen der Urteile möglich sind. Dies scheint in der Tat der Fall zu sein[1]).

Werden die Gewichte dagegen ziemlich langsam, ohne Ruck, gehoben, können die Spannungsempfindungen mehr in den Vordergrund treten. Durch ein besonderes Verfahren, oder einfach durch Übung, läßt es sich erzielen, daß die Hebungen so gleichmäßig ausgeführt werden, daß man die Gewichte ausschließlich nach den Spannungsempfindungen abschätzen kann. Die beiden Gewichte können nun ferner entweder mit derselben oder mit verschiedener Einstellung der Innervation gehoben werden. Im ersteren Falle wird das einem gegebenen gleich erscheinende Gewicht kleiner als im letzteren Falle. Ein gegebenes Gewicht kann nämlich nur durch einen größeren Kraftaufwand eine größere Geschwindigkeit erreichen, und wenn es in einem Falle schneller in die Höhe fliegt als in einem anderen, so müssen die entsprechenden Spannungsempfindungen auch stärker sein. Da nun die Hebung des ersten Gewichtes immer der zweiten als Einstellung dient, wird es fast immer nur die erste Hebung, die weniger gleichmäßig ausfällt. Das zuerst gehobene Gewicht wird dann überschätzt, und das zuzweit gehobene muß somit größer gemacht werden, um dem ersteren gleich zu erscheinen. Bei völlig gleichmäßiger Einstellung kommen dagegen Überschätzungen des zuerst gehobenen Gewichtes nicht vor, und das zuzweit gehobene wird daher relativ kleiner gemacht[2]). Die Verhältnisse sind also, wie man sieht, recht kompliziert, und wenn derartige Versuche ohne genügende Beachtung der Umstände (der Hubweise, Intervalle der Hebungen und der psychischen Momente) ausgeführt werden, können sie äußerst schwankende Resultate ergeben.

Die Gesichtswahrnehmungen spielen im Alltagsleben eine große Rolle für die zu leistenden Muskelarbeiten, indem wir das mutmaßliche Gewicht eines Gegenstandes nach dessen Aussehen abschätzen und die zur Hebung nötigen Muskelinnervationen im voraus danach regulieren. Um ein großes Objekt zu heben, werden die Muskeln kräftig innerviert; ist das Ding nun wider alles Erwarten leicht, fliegt es in die

---

[1]) Lehmann: a. a. O. S. 434.
[2]) Lehmann: a. a. O. S. 435, 446, 463.

Höhe und wird dadurch unverhältnismäßig leicht erscheinen. Auf diese Weise können Gesichtswahrnehmungen sehr erhebliche Täuschungen bei Gewichtsvergleichungen herbeiführen. Wird eine Reihe Messingrohre von verschiedener Länge, aber vom gleichen Querschnitt und Gewicht hergestellt, wird man nach dem Aussehen ein um so größeres Gewicht erwarten, je länger das Rohr. Vergleicht man dann durch Hebung die Gewichte, werden sie durchweg in der umgekehrten Reihenfolge geordnet: die längeren Rohre scheinen leichter als die kürzeren, weil sie bei der Hebung schneller emporsteigen[1]). Diese Täuschung wird gewöhnlich als sehr hartnäckig bezeichnet und läßt sich tatsächlich auch nicht beseitigen, solange die Gewichte nach den Bewegungsempfindungen beurteilt werden; sie verschwindet aber leicht, wenn man bei langsamer Hebung ausschließlich die Spannungsempfindungen vergleicht. Da aber zu kleine Gewichte kaum merkliche Spannungsempfindungen erregen, müssen die Rohre wenigstens um 400 g wiegen. Schon durch diese Täuschung sowie durch die Aufhebung derselben kann man die sich z. T. widerstreitenden Ergebnisse beobachten, die erhalten werden, je nachdem man die Gewichte nach den Bewegungsempfindungen oder nach den Spannungsempfindungen abschätzt.

Die Schwereempfindung ist, wie schon bemerkt, nur eine Art der Widerstandsempfindung; ob man aber ein Gewicht hebt oder einen beliebigen anderen, konstanten Widerstand überwindet, macht keinen Unterschied. Überall, wo ein Widerstand überwunden wird, müssen Druck-, Bewegungs- und Spannungsempfindungen entstehen; weicht der Widerstand dagegen nicht, fallen die Bewegungsempfindungen aus. Diese komplexe Natur der Widerstandsempfindung tritt auch bei der sogenannten *paradoxen* Widerstandsempfindung deutlich hervor. Wenn die Hand einen mit irgendeinem Gegenstand belasteten Faden hält und eine vorsichtige Abwärtsbewegung macht, bis der Gegenstand auf eine Unterlage stößt, so hat man in diesem Augenblick die deutliche Empfindung eines Widerstandes. Man hat ungefähr die Empfindung, als ob ein elastischer Stab gegen den Boden gedrückt würde[2]). Indem nämlich die Hand vom Gewichte entlastet wird, widersetzen sich die Muskel-

[1]) Dreßlar: Psychology of touch. Amer. Journal of Psych. Bd. 6. 1893. S. 343. Flournoy: Illusions de poids. L'année psychol. Bd. 1. S. 198.

[2]) Goldscheider: Gesammelte Abhandlungen. Bd. 2. S. 90.

spannungen der ferneren Abwärtsbewegung, wodurch der paradoxe Widerstand entsteht. Wird der das Gewicht tragende Faden an einen Finger gehängt, hört die Druckempfindung in dem Augenblick auf, wo der Finger entlastet wird; diese Empfindung der Entlastung hebt fast vollständig die paradoxe Widerstandsempfindung auf. Die letztere tritt daher um so deutlicher hervor, je geringer die Druckempfindung von Anfang an ist, was z. B. dadurch erzielt werden kann, daß der Faden an einem glatten, nicht zu dünnem Handgriff befestigt wird.

Fünfundvierzigstes Kapitel.

Die Empfindungen der vegetativen Vorgänge.

Wie schon oben erwähnt, liegen bisher nur wenige Untersuchungen über die normalen Empfindungen der inneren Organe vor, und diese wenigen Untersuchungen, die in vielen Fällen unter genau übereinstimmenden Umständen ausgeführt worden sind, haben oft sich widersprechende Resultate ergeben. Diese Tatsache läßt sich vorläufig nur durch die Annahme erklären, daß die Empfindlichkeit der inneren Organe individuell recht verschieden sei. Zwar haben alle Beobachter konstatieren können, daß die Empfindungen dieses Sinnesgebietes mit wachsender Übung des Beobachtens immer deutlicher werden; hierdurch können jedoch die widersprechenden Ergebnisse nicht erklärt werden. Es ist nämlich leicht verständlich, daß ungeübte Beobachter unter diesen Umständen die Beobachtungen der geübteren nicht haben bestätigen können. Wenn aber, was auch häufig vorgekommen ist, die Ungeübten mit großer Sicherheit Empfindungen angegeben haben, von welchen die Geübteren keine Spur bemerken konnten, so kann die fehlende Übung diesen Widerspruch jedenfalls nicht erklären. Es bleiben somit nur die individuellen Verschiedenheiten als einzige wahrscheinliche Annahme übrig, wodurch die ganze folgende Darstellung recht unsicher wird. Wegen der geringen Zahl der bisher vorliegenden Untersuchungen ist es nämlich nicht möglich, festzustellen, welche Empfindungen einer normalen, durchschnittlichen, und welche einer anormal gesteigerten Empfindlichkeit entsprechen. Man findet wohl im allgemeinen, daß *Schwächung oder Krankheiten der inneren Organe ihre Empfindlichkeit steigern*, aber erstens

ist diese Regel nicht ohne Ausnahme [1]), und zweitens läßt es sich nicht ohne weiteres behaupten, daß jede ungewöhnliche Sensibilität anormal, krankhaft sei. Die folgende Darstellung kann also nur unsere jetzigen, lückenhaften und in vielen Einzelheiten unsicheren Kenntnisse wiedergeben, ohne darauf Anspruch machen zu können, weder vollständig noch einwandfrei zu sein.

Die Verdauung. Die verschiedenen Empfindungen, die von der Mundhöhle und dem Schlunde aus erregt werden können, sind schon früher erwähnt (Kap. 37 u. 38). Wenn das Essen, der normale Reiz des Verdauungskanals, den Schlund passiert hat, erlöscht damit nicht jedes Empfinden desselben. Die Speiseröhre ist nämlich in ihrer ganzen Länge sowohl für Druck als für Kälte und Wärme empfindlich; die Sensibilität nimmt gewöhnlich von oben nach unten ab. Ein zu großer Bissen, der durch die Speiseröhre geht, wird jedenfalls im oberen Teile derselben von den meisten Menschen als Druck empfunden; nach unten zu wird die Empfindung bedeutend schwächer. Dasselbe gilt von den Temperaturempfindungen, die von zu heißen oder zu kalten Getränken erregt werden. Es sei hier nur bemerkt, daß das Innere der Speiseröhre auch für elektrische Reize sensibel gefunden ist [2]). In betreff der Sensibilität des Magens herrscht die größte Unsicherheit. Während einige Menschen Temperaturempfindungen im unteren Teile des Magens noch recht bestimmt lokalisieren können, wenn sehr heiße oder kalte Getränke eingenommen werden, spüren andere nicht das geringste [3]). Scharfe Gewürze in nicht zu kleinen Dosen können ebenfalls eigenartige Empfindungen im Magen erregen [4]). Ich kann alle diese Angaben, die Empfindlichkeit des Magens betreffend, nur bestätigen. Selbst kleinere Stücke englischen Pickles, Pfeffer u. ä. rufen bei mir ein in der Magengegend lokalisiertes Brennen hervor, das ganz konstant von einer Wärmeempfindung im Scheitel begleitet ist; bei stärkerer Reizung tritt mit der Wärmeempfindung ein recht lebhaftes Schwitzen der Glatze

---

[1]) Meumann: Weiteres zur Frage der Sensibilität der inneren Organe. Archiv für Psychol. Bd. 14, S. 282.

[2]) Becker: Über die Sensibilität usw. Zeitschr. für Psych. Bd. 49, S. 351.

[3]) Becker: Einige Bemerkungen über die Sensibilität usw. Archiv für Psychol. Bd. 15, S. 361 u. f.

[4]) Meumann, a. a. O. S. 293.

auf. Diese Begleiterscheinungen der Reizung des Magens sind gewiß Empfindungen der Zirkulations- und der Sekretionsvorgänge, von welchen unten die Rede sein wird.

Nach reichlichem Essen hat man eine unbestimmte Druckempfindung im ganzen Magen, die *Empfindung der Fülle* des Magens. Indem dieselbe bei fortschreitender Verdauung abnimmt, treten noch unbestimmtere Sensationen auf, die vielleicht von der Darmperistaltik herrühren (das Essen sackt sich). Bei völliger Gesundheit und ungestörter Verdauungstätigkeit hört hiermit wohl das Bewußtwerden dieser Tätigkeit auf. Nur besteht jedenfalls in der ersten Stunde nach dem Mahle eine gewisse Stumpfheit, die sich zur Schläfrigkeit steigern kann und wahrscheinlich davon herrührt, daß das Blut lebhaft zu den Eingeweiden strömt und somit dem Gehirn entzogen wird. Auf die letzte Phase der Verdauung, die Entleerungen, kommen wir später zurück.

Die Tätigkeit der Gedärme kann, wie gesagt, fast ohne jegliche Empfindung verlaufen, und diese Organe sind mithin normal anästhetisch. Sobald aber eine Entzündung der Gedärmwände vorliegt, oder anormale Gärungsprozesse im Gedärme sich vollziehen, ist die Verdauungstätigkeit fast immer von mehr oder weniger ausgesprochenen Schmerzen verschiedener Art (Drücken, Kneifen, Brennen, Saugen) begleitet. Wir dürfen wohl hieraus schließen, daß die Gedärme wenigstens mit frei endigenden sensiblen Nervenfasern ausgestattet sind, denn eben diese vermitteln die Stichempfindungen, die bei größerer Stärke schmerzhaft sind. Solange der Darm völlig gesund ist und die Vorgänge normal verlaufen, werden diese Sinnesnerven nicht erregt; jede Anomalität aber ermöglicht eine Reizung, die dann stets Schmerzen hervorruft. Diese Annahme stimmt sehr gut mit den Ergebnissen der Tierversuche überein, bei welchen sich die Baucheingeweide als sehr schmerzempfindlich gezeigt haben [1]).

Wenn die Verdauung einige Stunden nach einem Mahle beendigt ist, tritt die eigentümliche *Empfindung der Leere* des Magens ein, die das erste Merkmal des *Hungers* ist. Die Empfindung steigert sich allmählich und geht in eine äußerst charakteristische saugende Empfindung über; man hat einen Eindruck, als ob die Gedärme zusammenfielen und Hohlräume im Bauche entständen. Hiermit gehen Empfindungen im

[1]) Vgl. Meumann, a. a. O. S. 308.

Munde, wahrscheinlich von einer reichlicheren Speichelabsonderung herrührend, einher; das Wasser läuft einem im Munde zusammen schon bei dem Gedanken ans Essen. Tritt neben dem Hunger noch *Durst* auf, kann der Schlund trotz der starken Salivation trocken sein; bei starkem Durst hört die Speichelabsonderung auf, die Zunge klebt im trockenen Munde fest, und man hat die Empfindung des Austrocknens tief in die Speiseröhre hinab und an den unbekleideten Teilen des Körpers. Tatsächlich kann man dann seinen Durst größtenteils dadurch stillen, daß man Hände, Arme und Gesicht in Wasser taucht.

Die Sekretionen. Bei jeder Sekretion kann man mit bezug auf die Bewußtseinserscheinungen zwei Phasen unterscheiden: die Empfindungen, die der Entleerung vorausgehen, und diejenigen, die sie begleiten. Vor dem Ausbrechen des Schweißes hat man eine oft unangenehme kribbelnde Empfindung in der Haut; das Heraustreten der Tröpfchen führt dann neben den Empfindungen der Feuchtigkeit und der Abkühlung eine Erleichterung herbei, indem das Kribbeln aufhört. Ähnliches ist beim Tränenerguß der Fall, wo die willkürliche Zurückhaltung der Tränen, die sehr wohl möglich ist, ein geradezu schmerzhaftes Brennen der Augen verursachen kann. Diese Empfindung läßt nach und hört bald auf, wenn die Tränen in die Augen treten. — Bei der konstant stattfindenden Speichelabsonderung sind die beiden Phasen nicht so scharf getrennt. Die Hungerempfindung ist jedoch periodisch von einem schwachen Kribbeln oder Brennen der Wangenschleimhaut begleitet, das dann plötzlich aufhören kann, indem eine größere Speichelmenge sich im Munde sammelt. — Bei den Entleerungen der Blase und der Gedärme treten die beiden Phasen sehr deutlich hervor. Der Harndrang meldet sich als ein Drücken tief im Unterleibe und eine kitzelnde Empfindung im Inneren des Gliedes; während der Entleerung merkt man das Fließen der Flüssigkeit durch die Urinröhre, und die frühere Empfindung hört auf. Ähnliche Empfindungen begleiten den Stuhlgang. Ist der Dickdarm völlig gesund, merkt man die Peristaltik wohl nur als einen Druck am unteren Ende des Darmes, und die Entleerung ebenfalls nur als einen Druck in der Darmöffnung. Bei Darmaffektionen dagegen treten Schmerzen oder Kitzeln im Dickdarm auf, und während der Entleerung kommen oft krampfhafte Empfindungen in den Baucheingeweiden vor.

Die Atmung ruft unter normalen Umständen, d. h. unter der Voraussetzung gesunder Lungen und frischer Luft, kaum andere Empfindungen hervor als die der Bewegungen der Atmungsmuskeln. Bei behinderter Atmung oder beim Aufenthalt in verdorbener Luft tritt allgemeines Unwohlsein, Übelkeit ein, Empfindungen, die sich kaum irgendwo bestimmt lokalisieren lassen und zweifellos von den wegen ungenügender Oxydation im Blute gehäuften Stoffwechselprodukten herrühren. Dauert der Zustand fort, tritt nach und nach die Empfindung des Erstickens ein: die Brust ist wie von einer großen Last zusammengepreßt, und im Kopfe hat man die Empfindung, als ob er von innen platzen sollte. Reflektorisch werden dann krampfhafte Bewegungen ausgelöst, um frische Luft zu erhalten. Wenn dies gelingt, atmet man wieder tief auf, und das Unwohlsein kann bald vorüber sein. Merkwürdig ist es, daß analoge Empfindungen in sonst frischer Luft durch Temperatur-, Druck- und Feuchtigkeitsveränderungen entstehen können. Kommt man an einem heißen Tage von einer sonnigen Landstraße in einen schattigen Wald oder vom Tal in die kühlere, leichtere Luft einer Gebirgshöhe, so atmet man auf fast wie nach einer Erstickung. Wir haben also wahrscheinlich stets von dem Atmungsvorgang recht unbestimmte Empfindungen, die von kleinen Veränderungen der Luft beeinflußt werden. Bei Lungenaffektionen, während asthmatischer Anfälle und ähnlicher Zustände können übrigens ausgesprochenere Empfindungen in den Lungen lokalisiert werden[1]).

Die Blutzirkulation wird unter normalen Umständen kaum empfunden; größere Veränderungen der Herztätigkeit oder der Weite bestimmter Gefäßgebiete sind dagegen leicht merklich. Bei Herzklopfen empfindet man wohl nur den Stoß der Herzspitze gegen die Brustwand, und in gewissen Gemütsbewegungen können z. B. die Schläfenarterien oder andere Pulse so stark klopfen, daß man es merken kann. Nach Überanstrengung des Herzens, z. B. beim Bergsteigen, kann eine im Herzen lokalisierte, saugende Empfindung tagelang bestehen, und beim Ausbleiben eines Herzschlages setzt plötzlich eine sehr unangenehme Empfindung ein[2]).

Starke Erweiterungen der Hautgefäße können wohl immer als Erwärmung, Verengerungen der Hautgefäße als Abkühlung

---

[1]) Meumann, a. a. O. S. 298.
[2]) Meumann, a. a. O. S. 299.

der betreffenden Hautpartie empfunden werden. Wenn man errötet, sei es vor Scham, sei es vor Zorn, merkt man leicht, wie einem der Kopf heiß wird. Eine analoge Erscheinung als Folge eines Genusses bestimmter Gewürze wurde oben (S. 353) erwähnt. Als Begleiterscheinung verschiedener Gemütsbewegungen (Entzücken, Schreck) können starke Gefäßverengerungen auftreten; dann läuft es einem kalt über den Rücken, oder man schaudert wie vor Kälte, usw. Diese verschiedenen Empfindungen sind allerdings Temperaturempfindungen der Haut, da sie aber von inneren Zirkulationsstörungen und nicht von äußeren Ursachen herrühren, müssen sie zu den Organempfindungen gerechnet werden.

Die Zeugung. Über die infantielle Sexualität gehen die Ansichten sehr auseinander[1]). In der Pubertätsperiode, wo die Geschlechtsorgane reif werden, ruft die starke Entwicklung dieser Organe gewiß eine Menge unbestimmter Empfindungen hervor, die wir nicht kennen. Wenn die Erscheinungen anfangen, den Psychologen zu interessieren, hat er seine eigenen Erlebnisse vergessen, und man wird sich wohl hüten, die Aufmerksamkeit der jungen Leute darauf zu lenken. Analoge Empfindungen kommen jedoch wahrscheinlich auch später vor, wenn die Sekrete der Organe in Fülle vorhanden sind. Die Empfindungen verweben sich dann leicht mit bestimmten Vorstellungen zu sexuellen Traumbildern, die dann ferner vasomotorische Veränderungen, Stauungen des venösen Blutes in den Organen, herbeiführen. Eine unfreiwillige Ejakulation der Geschlechtssekrete, mit ganz eigenartigen Wollustempfindungen verbunden, schließt häufig den ganzen Vorgang ab. Ungleich häufiger fängt der Prozeß wohl mit sexuellen Gefühlen, durch äußere Reize (Gesichtswahrnehmungen, Berührungsempfindungen) hervorgerufen, an, und dieser Bewußtseinszustand erregt dann die Tätigkeit der Geschlechtsorgane. Auch in diesem Falle aber spielen wahrscheinlich die von den funktionsfähigen Organen aus hervorgerufenen, ganz unbestimmten Empfindungen eine wesentliche Rolle. Die männlichen Geschlechtsorgane wenigstens ermüden nämlich sehr leicht, und wenn sie vorübergehend weniger funktionsfähig

---

[1]) Vgl. Ellis: Studies in the psychology of sex. Philadelphia 1900. Stanley Hall: Adolescence, its psychology and its relations to physiology. New York 1908. Moll: Das Sexualleben des Kindes. Berlin 1909. Freud: Drei Abhandlungen zur Sexualtheorie. 2. Aufl. Leipzig und Wien 1910.

geworden sind, rufen äußere Reize auch schwieriger sexuelle Gefühle hervor. Der Sexualvorgang kommt also normal nur dann zustande, wenn die von äußeren und inneren Reizen herrührenden Wahrnehmungen und Empfindungen zusammentreffen. In anormalen Fällen dagegen genügt schon die eine Gruppe dieser Reize[1]).

B. Die Gefühle.

Sechsundvierzigstes Kapitel.

Allgemeine Eigentümlichkeiten der Gefühlselemente.

Wie schon oben (S. 176) hervorgehoben, sind sowohl die einfachen Empfindungen als die davon zusammengesetzten Wahrnehmungen und Vorstellungen meistens von besonderen Zuständen der Lust und der Unlust begleitet. Wir bezeichnen diese Begleiterscheinungen, im Gegensatz zu den erwähnten intellektuellen Zuständen, als die *emotionellen* Elemente, die *Gefühlselemente* oder *Gefühlstöne*, während die aus Empfindungen und Gefühlselementen zusammengesetzten Zustände *Gefühle* heißen. Es wurde ebenfalls früher hervorgehoben, daß dem Anschein nach recht einfache Gefühle keineswegs immer als nur lust- oder unlustbetont auftreten, indem die Gefühle Modifikationen aufweisen, die sich durch die Gegensätze erregend - deprimierend, heiter - ernst, beruhigend - beunruhigend usw. bezeichnen lassen. Wenn wir hier zur Erklärung dieser Modifikationen des Gefühls neben Lust und Unlust keine neuen Gefühlselemente annehmen, beruht es hauptsächlich darauf, daß die intellektuellen Elemente des Gefühls in allen solchen Fällen sich als recht kompliziert erweisen, was später im einzelnen nachgewiesen werden soll. Überall, wo wir dem Anschein nach einfache Empfindungen wie Farben, Töne, Gerüche usw. von Lust oder Unlust verschiedener Modifikationen begleitet sehen, können wir entweder Organempfindungen allein oder Vorstellungen nebst begleitenden Organempfindungen als gegenwärtig nachweisen, wodurch das Gefühl eben seine eigentümliche „Färbung“ erhält. Die Richtigkeit dieser Auf-

[1]) Moll: Libido sexualis. 1898, S. 23 u. f.

fassung kann erst im folgenden Kapitel dargetan werden; der Einfachheit wegen gehen wir vorläufig davon aus, daß außer Lust und Unlust keine anderen Gefühlselemente vorkommen, und untersuchen die allgemeinen Eigenschaften dieser Elemente, besonders ihre Verhältnisse zu den Empfindungen.

Lust und Unlust sind nicht von dem Vorkommen bestimmter Reize oder von der Reizung bestimmter Organe abhängig. Diese wesentliche Eigentümlichkeit der Gefühlstöne fällt so leicht ins Auge, daß sie immer als etwas Selbstverständliches vorausgesetzt und nie besonders hervorgehoben wird. Während jede Art von Empfindungen nur durch bestimmte Reize und nur von bestimmten Organen aus erregt werden können, sind Lust und Unlust durch jede beliebige Art von Reizen und von jedem Organe aus hervorzurufen. In dieser Beziehung besteht also ein entschiedener Gegensatz zwischen Empfindungen und Gefühlstönen. Die letzteren erhalten dadurch einen weit subjektiveren Charakter als die ersteren, indem sie uns über die Vorgänge der Außenwelt nicht aufklären. In diesem Sinne können die Worte Kants noch Gültigkeit beanspruchen: „Dasjenige Subjektive an einer Vorstellung, was gar kein Erkenntnisstück werden kann, ist die mit ihr verbundene Lust oder Unlust.“ Die Hauptsache ist aber hier nicht der mehr oder weniger subjektive Charakter der Gefühlselemente, sondern die Ursache dieser Subjektivität, nämlich die Tatsache: *Von den Empfindungen unterscheiden sich die Lust und die Unlust dadurch, daß sie durch jede beliebige Art der Reize und von jedem Organe aus, das überhaupt Empfindungen vermittelt, hervorgerufen werden können.* Außer dieser Unabhängigkeit von der Art der Reize und vom Reizungsorgane gibt es noch zwei andere Merkmale, wodurch die Gefühlselemente sich bestimmt von den Empfindungen unterscheiden.

Die Behauptung, daß die intellektuellen Zustände fast immer von Gefühlstönen begleitet sind, stimmt wohl kaum mit den Erfahrungen des Alltagslebens überein. Unsere tägliche Arbeit und zahlreiche Erlebnisse ziehen, wenigstens dem Anschein nach, ohne besondere Gefühlsbetonung durch das Bewußtsein. Dieser Anschein beruht jedoch nur auf ungenauer Beobachtung. Solange wir mit den Vorgängen der Außenwelt beschäftigt sind, solange unsere Aufmerksamkeit von Wahrnehmen, Denken und Handeln in Anspruch genommen ist, kann von einer Selbstbeobachtung, einer Beachtung der Einzel-

heiten des seelischen Geschehens, kaum die Rede sein, und nur ein außergewöhnlicher Umstand, der geradezu eine Gemütsbewegung hervorruft, meldet sich unmittelbar als gefühlsbetont. Wenn man sich aber die Mühe nimmt, näher zu beobachten, wird man finden, daß fast alle wechselnden Zustände, selbst ganz mechanische tägliche Arbeiten, unaufhörlich von Gefühlstönen begleitet sind. Tritt eine kleine Stockung der Arbeit ein, meldet sich sofort eine Unlust; geht die Arbeit wieder glatt, tritt eine positive Lust hervor. Ohne Ausnahme ist aber diese durchgängige Gefühlsbetonung der intellektuellen Zustände keineswegs. Es müssen eben kleine Störungen und Stockungen der Arbeit eintreten, damit die Gefühlstöne einer angewohnten Tätigkeit merklich werden sollen. Durch häufige Wiederholung können, wie wir später sehen werden, überhaupt die meisten psychischen Erscheinungen nach und nach in emotioneller Beziehung indifferent werden.

Während also zweifellos intellektuelle Zustände ohne begleitende Gefühlselemente sich nachweisen lassen, kommen Gefühlselemente kaum je isoliert vor. Man hat zwar verschiedene Beobachtungen angeführt, die beim ersten Blick ein größeres Intervall zwischen Empfindung und Gefühlston oder gar eine vollständige Isolation des letzteren darboten; die genauere Untersuchung der Fälle hat aber immer erwiesen, daß bedeutungsvolle Momente anfangs übersehen worden waren. Wenn man sich z. B. mit einer Nadel sticht, so entsteht der Schmerz, wie oft behauptet worden ist, erst einige Zeit nach der Stichempfindung. Hierbei übersieht man aber, daß die ursprüngliche Stichempfindung auch unlustbetont war, und daß der später eintretende, sengende Schmerz durchaus kein isolierter Gefühlston ist, sondern mit einer deutlichen Empfindung des Klopfens oder Hämmerns einhergeht. Es liegen somit zwei verschiedene Zustände vor: im Momente der Reizung entsteht eine primäre, unlustbetonte Stichempfindung; nach einem kurzen Intervalle verursachen die inneren Veränderungen des beschädigten Organs sekundäre Empfindungen, die gewöhnlich von einer bedeutend stärkeren Unlust begleitet sind. Ganz analog liegen die Verhältnisse, wenn man sich an einem heißen Gegenstand brennt. Die ersten Druck- und Wärmeempfindungen sind vielleicht nur mäßig unlustbetont; wenn die Wärme sich aber durch die Haut fortgepflanzt hat, was eine meßbare Zeit beansprucht, so werden die Wärmeempfindungen stärker, und gleichzeitig

treten die immer langsam ansteigenden Stichempfindungen auf. Es kommen also wiederum keine isolierten Gefühlstöne vor, sondern zwei verschiedene Zustände, die sowohl Empfindungen als Gefühlstöne enthalten [1]).

Eine andere Frage ist, ob die Empfindungen und ihre Gefühlstöne völlig gleichzeitig einsetzen, oder ob der Anstieg der beiden Erscheinungen verschieden sei. Nakashima hat versucht, die Frage experimentell zu beantworten, und kam zu dem Resultate, daß der Gefühlston im allgemeinen ein wenig später als die Empfindung eintritt [2]). Das Intervall beträgt bei den Hautempfindungen um 0,1 Sek., bei den Farbenempfindungen rund 1,0 Sek., und zwischen diesen Grenzen liegen die Intervalle der übrigen Empfindungen; mit wachsender Stärke der Empfindungen nimmt das Intervall jedoch stark ab. Die Bedeutung dieser Zahlenangaben scheint mir jedoch recht zweifelhaft zu sein. Die Gefühlstöne der einfachen Empfindungen sind so unbestimmte Zustände, daß es jedenfalls mir unmöglich ist, anzugeben, wann das Gefühl eigentlich anfängt. Ich versuchte schon vor 25 Jahren, ähnliche Untersuchungen wie die erwähnten anzustellen, kam aber zu dem Ergebnis, daß der Gefühlston zwar durchweg während einiger Zeit merklich an Stärke zunimmt, daß der Anfang des Gefühls sich aber nicht feststellen läßt. Nach meinem Ermessen haben die Versuchspersonen Nakashimas eher den Maximumspunkt als den Anfang des Gefühls markiert. Die Ergebnisse der betreffenden Versuche werden dadurch nicht weniger interessant, beweisen aber nichts von einem Intervall zwischen der Empfindung und ihrem Gefühlston.

Es ist ferner bisweilen behauptet worden, daß in einigen Fällen, bei Überraschung und Erschrecken, die Gefühlselemente den einführenden Empfindungen vorausgehen könnten [3]). Betrachten wir zuerst den letzteren Fall, das relativ einfache Erschrecken. Wenn man, tief in Gedanken versunken, vor einem plötzlichen Schall erschrickt, so kann man mitunter etwas erleben, das zu einer solchen Täuschung Anlaß geben kann. Man fährt vor Schreck zusammen, und erst dann, den Bruchteil einer Sekunde nachher, wird man sich der Ursache

[1]) Lehmann: Hauptgesetze des menschl. Gefühlslebens. 1892, S. 43.

[2]) Time relations of the affective processes. Psychol. Review. Bd. 16, 1909.

[3]) Ladd: Psychology, Descriptive and Explanatory. 1894, S. 180 u. f.

des Affektes bewußt. Nur bei oberflächlicher Betrachtung der Sache aber könnte man glauben, daß das Gefühl der Empfindung vorausgegangen wäre. Unangenehm ist nämlich nicht der vielleicht nur schwache, plötzliche Schall, sondern die Empfindungen der unwillkürlichen Kontraktionen der Muskeln, die das Erschrecken charakterisieren. Diese organischen Veränderungen werden vom Schallreize wahrscheinlich durch die subkortikalen Zentren ausgelöst, weil die Aufmerksamkeit abgelenkt und daher das Gehörszentrum schwer erregbar ist. Erst nachdem die gewaltsame Störung des organischen Zustandes, wodurch der Gedankenlauf unterbrochen wird, empfunden worden ist, dringt die winzige Ursache des Affektes, der Schallreiz, zum Bewußtsein hervor. Es liegen also auch hier zwei verschiedene Zustände vor: eine, zahlreiche Organempfindungen enthaltende Gemütsbewegung und eine Schallempfindung. Im Gegensatz zur gewöhnlichen Ordnung der Dinge geht zwar in dem betrachteten Falle die erstere der letzteren voraus, von isolierten Gefühlstönen ist aber dennoch keine Spur vorhanden.

Ganz analog liegen die Verhältnisse bei der Überraschung, wo es sich um zwei verschiedene Phasen einer komplizierten Gemütsbewegung handelt. Ehe man die Mitteilung oder das Geschehen vollständig aufgefaßt hat, entsteht ein schreckähnlicher Zustand: die Überraschung, die dann allmählich in einen anderen Zustand übergeht, wenn man die Sache begreift. Die Überraschung ist aber ebensowenig wie der Schreck ein isolierter, empfindungsfreier Gefühlston; sie ist nur die erste Phase eines Affektes, die von der folgenden beträchtlich abweichen kann.

Von der Existenz isolierter Gefühlstöne haben uns die erwähnten Beobachtungen also nicht überzeugen können, und diese Sachlage wird durch die Behauptung, daß im Innern des Organismus Gefühlselemente ohne Verbindung mit Empfindungen entstehen, nicht verändert[1]). Jeder Schmerz im Innern des Körpers hat nämlich einen eigentümlichen Charakter des Stechens, Bohrens, Brennens, Jagens, Hämmerns usw., und ganz ähnliche Gefühle können, wie wir später (Kap. 48) sehen werden, an der Oberfläche des Körpers durch verschiedene Reize hervorgerufen werden. Im letzteren Falle handelt es sich fast nur um Reizungen der Stichorgane, deren

[1]) Vgl. Külpe: Vierteljahrschr. für wiss. Philos. 1887, S. 442.

Stärke, räumliche und zeitliche Ausdehnung variieren können. Es sind also zweifellos Empfindungen, die den Schmerzen der Körperoberfläche ihren verschiedenen Charakter geben, und die Schmerzen im Innern des Körpers unterscheiden sich nur durch ihre Lokalisation, dagegen kaum durch ihre Artseigentümlichkeiten von den ersteren. Es würde deshalb auch höchst inkonsequent sein, die Schmerzen im Innern des Körpers als besondere, empfindungsfreie Gefühlsqualitäten aufzufassen. Wir können daher feststellen, daß *die emotionellen Elemente, die Lust und die Unlust, nie isoliert, sondern nur in Verbindung mit intellektuellen Zuständen hervortreten.*

Es ist hiermit eine zweite Eigentümlichkeit der Gefühlstöne nachgewiesen, wodurch sie sich von den Empfindungen unterscheiden: *Während eine einfache Empfindung nur von der Gegenwart eines äußeren Reizes und nie von dem gleichzeitigen Auftreten einer Empfindung anderer Art abhängig ist, kommen die Gefühlselemente nur in Verbindung mit Empfindungen (Empfindungskomplexen, Vorstellungen) vor.*

Wir haben oben gesehen, daß alle Empfindungen jedenfalls vier Dimensionen haben: Art, Stärke, Dauer und Klarheit; nur die räumliche Ausdehnung ist bei einigen Empfindungen so vag und unbestimmt, daß ihre Existenz zweifelhaft sein kann. Von den Empfindungen unterscheiden sich die Gefühlstöne nun ferner dadurch, daß sie nur drei Dimensionen, nämlich Art, Stärke und Dauer haben, während ihnen sowohl die räumliche Ausdehnung als die Klarheit völlig abgehen. Um dieses Merkmal näher nachzuweisen, müssen wir einigen der folgenden Darstellungen vorgreifen. Von der Klarheit der Empfindungen war bisher keine Rede, weil dieser Punkt erst im folgenden eingehend beleuchtet werden kann. Wir müssen jetzt, um einen wesentlichen Unterschied zwischen den Empfindungen und Gefühlstönen nicht unberücksichtigt zu lassen, einige die Klarheit betreffende Tatsachen hervorheben; die Erklärung der Sache muß auf Kap. 60 verschoben werden.

Eine Empfindung tritt um so klarer, lebhafter hervor, je mehr die Aufmerksamkeit auf sie gelenkt ist; bei abgelenkter Aufmerksamkeit können selbst relativ starke Reize nur unklare Empfindungen erregen. Die größere Klarheit bei aufmerksamer Beobachtung zeigt sich besonders dadurch, daß wir uns der Unterschiede, die wir sonst nicht bemerken, jetzt bewußt werden. Eine farbige Wand z. B., die wir beim ersten

Blick als gleichmäßig einfarbig auffassen, zeigt vielleicht bei aufmerksamer Betrachtung eine große Anzahl hellerer und dunklerer Flecken, die unregelmäßig miteinander wechseln, außerdem eine dunklere Kontourlinie, die anfangs gar nicht bemerkt wurde, usw. Die Klarheit einer Empfindung hat also eben zur Folge, daß man diese Empfindung von ähnlichen möglichst genau unterscheidet, was wir im täglichen Leben als eine Wirkung der Aufmerksamkeit auffassen. Allen Empfindungen ist es gemeinsam, daß sie bei aufmerksamer Beobachtung klarer, lebhafter werden, womit die eventuell vorkommenden Unterschiede klarer hervortreten. Auch deshalb müssen das Stechen, Bohren, Jagen, Hämmern usw. bei den körperlichen Schmerzen Empfindungen genannt werden, weil diese Zustände, wenn die Aufmerksamkeit darauf gelenkt wird, lebhafter und klarer hervortreten.

Im Gegensatz zu den Empfindungen haben die Gefühlselemente gar keine Klarheit. Die Lust und die Unlust werden nicht im geringsten lebhafter und klarer, weil wir die Aufmerksamkeit auf dieselben lenken. Im Gegenteil, das Zeugnis der meisten Psychologen geht dahin, daß Lust und Unlust bei aufmerksamer Beobachtung an Stärke abnehmen und fast zum Verschwinden gebracht werden können[1]. Will man bei konstanter Reizung ein Gefühl stärker hervortreten lassen, muß man seine Aufmerksamkeit auf die betonte Empfindung lenken; indem diese klarer wird, nimmt der Gefühlston an Stärke zu. Umgekehrt kann man bei völliger Ablenkung der Aufmerksamkeit von der Empfindung, wenn dies gelingt, das Gefühl „vergessen", d. h. zum Verschwinden bringen. Ungefähr dasselbe wird aber eben erreicht, wenn man die Aufmerksamkeit auf den Gefühlston richtet; dann besteht zwar noch die Empfindung, die Lust oder Unlust läßt aber nach. Mit einem anhaltenden, nicht zu starken körperlichen Schmerz kann man diese verschiedenen Experimente leicht anstellen. Konzentration der Aufmerksamkeit auf die Schmerzempfindung verstärkt das Gefühl; bei Ablenkung der Aufmerksamkeit, z. B. durch das Lesen eines interessanten Buches, wird das Gefühl vergessen; bei aufmerksamer Beobachtung der Unlust besteht zwar noch die Schmerzempfindung, sie nimmt aber an Unannehmlichkeit ab.

Den dritten Hauptunterschied zwischen den Empfindungen

---

[1]) Titchener: Feeling and Attention. New York 1908, S. 69 u. f.

und den Gefühlstönen können wir hiernach folgendermaßen formulieren: *Die Dimension der Klarheit geht den Gefühlstönen ab. Während die Empfindungen um so klarer und lebhafter hervortreten, je mehr die Aufmerksamkeit auf dieselben gelenkt wird, hat eine Lenkung der Aufmerksamkeit auf die Gefühlstöne fast die entgegengesetzte Wirkung; mit wachsender Aufmerksamkeit nehmen sie an Stärke ab.*

Durch die hervorgehobenen allgemeinen Eigentümlichkeiten der Gefühlstöne können zwei verschiedene Auffassungen dieser Erscheinungen als unhaltbar abgewiesen werden. Die beiden Umstände, daß die Gefühlselemente nur mit Empfindungen verbunden auftreten, und daß sie im wesentlichen stets denselben Charakter haben ohne Rücksicht auf die Art der Empfindungen, die sie begleiten, führen leicht zu der Auffassung, daß der Gefühlston einfach eine Eigenschaft, eine Dimension der Empfindung sei. So hat man früher jeder Empfindung außer Art und Stärke noch einen Gefühlston beigelegt [1]. Diese Auffassung ist aber erstens deshalb unhaltbar, weil eine Empfindung nicht ohne eine bestimmte Art, Stärke, Dauer usw., dagegen sehr wohl ohne einen Gefühlston vorkommen kann. Zweitens hat jeder Gefühlston selbst eine bestimmte Art, Stärke und Dauer und ist also gewissermaßen eine selbständige Erscheinung, nicht nur eine Eigenschaft der Empfindung.

Die zweite, gewiß ebenso unhaltbare Ansicht versucht die Gefühlstöne, wie alle anderen Bewußtseinserscheinungen, auf Empfindungen zu reduzieren. Dies ist wohl nur dadurch möglich geworden, daß man die eben angeführten, wesentlichen Unterschiede zwischen den Empfindungen und den Gefühlen kaum recht beachtet hat. Wenn man aber die Ergebnisse der Selbstbeobachtung nicht einfach außer acht lassen will, so müssen die bisherigen Versuche in dieser Richtung als gescheidert angesehen werden.

Der erste dieser Versuche rührt von dem Physiologen Lange her, der die Ansicht verteidigte, daß die Gefühlstöne einfach Komplexe von Organempfindungen wären [2]. Wir haben schon oben (S. 148) gesehen, daß jede Reizung eines Sinnesorgans von Veränderungen der Blutzirkulation und der Atmung begleitet ist, und diese Veränderungen können wiederum mehr oder weniger bestimmt lokalisierte Organempfindungen hervorrufen (S. 356). Zwei Tatsachen stellen sich indes der Annahme entgegen, daß Komplexe

[1] Wundt: Physiol. Psychol. 2. bis 4. Aufl.

[2] Über Gemütsbewegungen. Leipzig 1887.

solcher Organempfindungen die Gefühlstöne der Empfindungen bilden. Erstens sind Komplexe von Organempfindungen durchaus nicht unanalysierbar. Herzklopfen, Atembewegungen, Wärme oder Kälte der Haut, Unruhe der Muskeln, peristaltische Bewegungen der Gedärme und andere Empfindungen im Inneren des Körpers können durch aufmerksame Beobachtung wahrgenommen und einigermaßen genau lokalisiert werden, und wenn alle diese organischen Zustände einzeln empfunden werden können, so können sie nicht gleichzeitig zu einem Gefühlston verschmelzen. Hierzu kommt ferner, daß viele dieser Organempfindungen selbst von Gefühlstönen begleitet sind, deren Ursache dann nichts weniger als klar wird. Die Theorie muß daher annehmen, daß es nicht die starken, lokalisierbaren und gefühlsbetonten, sondern nur die schwachen und vagen Organempfindungen sind, die die Gefühlstöne bilden. Es ist aber jedenfalls recht unwahrscheinlich, daß eine starke Lust oder Unlust nur aus solchen schwachen, kaum merklichen und daher immer zweifelhaften Empfindungen bestehe. Zweitens haben die experimentellen Untersuchungen gezeigt, wie unter normalen Umständen die körperlichen Veränderungen immer später als die Gefühle auftreten. Ein Reiz erregt irgend eine betonte Empfindung; der Zeitpunkt, wo diese im Bewußtsein entsteht, kann von der betreffenden Versuchsperson recht genau angegeben werden. Eine meßbare Zeit, gewöhnlich 2—3 Sek. später, zeigen sich die Veränderungen des Herzschlages, der Gefäßmuskulatur, des Atems usw.[1]). Die Empfindungen dieser später eintretenden Veränderungen können doch unmöglich die Komponenten des schon bestehenden Gefühlstons sein. Die Theorie wird hierdurch genötigt, neue, recht bedenkliche Hilfshypothesen aufzustellen, auf die wir hier nicht näher einzugehen brauchen[2]).

Ein zweiter Versuch rührt von Stumpf her[3]). Er betrachtet zwar die Gefühle als elementare, nicht zusammengesetzte Erscheinungen, meint aber, daß sie sich von den Empfindungen in keiner nennenswerten Beziehung unterscheiden, so daß sie nicht als eine besondere Art Bewußtseinszustände, sondern einfach als eine, den übrigen Empfindungen nebengeordnete Gruppe von Empfindungen aufzustellen seien. Er nennt sie deshalb „Gefühlsempfindungen". Eine eingehende Kritik dieser Auffassung ist von Titchener gegeben[4]); wir brauchen aber hier nicht auf Einzelheiten einzugehen, da Stumpf selbst den Beweis führt, daß die „Gefühlsempfindungen" den übrigen Empfindungen nicht nebengeordnet werden können. Alle bisher bekannten Arten von Empfindungen entstehen nämlich durch die Reizung peripherischer Nervenendigungen. Durch die an der Oberfläche des Körpers liegenden Sinnesorgane können wir daher immer mittels dazu geeigneter Reize jede einzelne Empfindung

---

[1]) Lehmann: Hauptgesetze S. 125. Lehmann: Körperliche Äußerungen psychischer Zustände. Bd. 1, S. 193.

[2]) Lehmann: Körperliche Äußerungen. Bd. 1, S. 194.

[3]) Über Gefühlsempfindungen. Zeitschr. f. Psychol., Bd. 44. 1906.

[4]) Feeling and Attention. 1908. Lecture III.

isoliert hervorrufen: es kommt überhaupt nicht vor, daß eine Empfindung nur in Verbindung mit einer anderen entsteht. In dieser Beziehung unterscheiden sich jedenfalls die „Gefühlsempfindungen“, die durch das Auge, das Ohr, das Geschmacks- und das Geruchsorgan erregt werden können, sehr wesentlich von den betreffenden Sinnesempfindungen. Erstens finden sich hier keine Nervenendigungen, durch welche die „Gefühlsempfindungen“ von den Sinnesempfindungen getrennt erregt werden können. Stumpf stellt zwar die Möglichkeit in Aussicht, daß solche Nerven noch entdeckt werden können; er selber betrachtet aber diese Möglichkeit als äußerst unwahrscheinlich. Zweitens ist es nicht gelungen, auf diesen Gebieten eine isolierte Lust oder Unlust zu beobachten; die „Gefühlsempfindungen“ treten stets nur in Verbindung mit Sinnesempfindungen auf. Ebenfalls haben die Versuche, Erinnerungsbilder der „Gefühlsempfindungen“ isoliert hervorzurufen, nur zweideutige Resultate ergeben[1]). Stumpf kommt daher zu dem Schlusse, daß die Gefühlsempfindungen zentral erregte Empfindungen sind, was wohl heißt, daß die zentralen Vorgänge, die die Empfindungen hervorrufen, gleichzeitig Nebenprozesse auslösen, wodurch die Gefühlsempfindungen entstehen. Hiermit gibt Stumpf also realiter zu, daß seine „Gefühlsempfindungen“ sich psychophysiologisch so wesentlich von den Sinnesempfindungen unterscheiden, daß sie gar nicht als Erscheinungen derselben Art aufgestellt werden können. Da es außerdem, wie wir gesehen haben, bedeutungsvolle psychologische Unterschiede zwischen den beiden Arten psychischer Erscheinungen gibt, so heben wir diese völlige Ungleichartigkeit am besten dadurch hervor, daß wir die „Gefühlsempfindungen“ gar nicht als Empfindungen auffassen, sondern als eine neue Gruppe psychischer Erscheinungen, wie wir es oben getan haben.

Theorie der Gefühle. Wenn die Gefühlselemente weder einfache Empfindungen noch aus Empfindungen zusammengesetzt sind, können die Gehirnvorgänge, die sie begleiten, auch nicht dem physiologischen Korrelate der Empfindungen gleich sein, weil die Gefühlstöne sonst von Empfindungen zweifellos nicht zu unterscheiden wären. Die physiologischen Korrelate der Gefühlstöne müssen also erstens von denjenigen der Empfindungen verschieden sein, und die beiden Arten von Gehirnvorgängen müssen zweitens in gewissen, z. B. zeitlichen, Beziehungen sich gegenseitig wie die psychischen Erscheinungen selbst verhalten. Da die letzteren immer fast gleichzeitig entstehen, müssen die entsprechenden Gehirnvorgänge auch gleichzeitig zustande kommen. Da ferner ein Gefühlston nur in Verbindung mit einer Empfindung und nie isoliert vorkommt, kann der betreffende Gehirnvorgang also nicht direkt durch einen Reiz, sondern nur von einem, einer

[1]) Titchener, a. a. O. S. 100 u. f.

Empfindung entsprechenden Gehirnvorgang ausgelöst werden. Zwei Möglichkeiten bieten sich hier dar. Entweder kommen die Gefühlstöne in einem besonderen Zentrum oder in dem jeweilig tätigen Sinneszentrum zustande. Die erste dieser Möglichkeiten ist jedenfalls äußerst unwahrscheinlich[1]). Ein solches Zentrum würde fast als der von den älteren Psychologen gesuchte Seelensitz anzusehen sein, indem Nervenbahnen von allen einzelnen Sinneszentren in diesen Punkt zusammenlaufen müßten; einen solchen Punkt gibt es aber nicht. Zweitens bereitet die tatsächliche Gleichzeitigkeit einer Empfindung und ihres Gefühlstons einer solchen Annahme große Schwierigkeiten. Ferner würde eine Verletzung dieses Zentrums oder einer bestimmten Gruppe der Nervenbahnen eine totale, bzw. partielle „Gefühlslosigkeit" verursachen; während die Empfindungen wie vorher entstehen könnten, würden ihre Gefühlstöne völlig ausbleiben. Die Psychiatrie hat aber bisher keinen solchen Fall konstatieren können, und die Möglichkeit eines besonderen Gefühlszentrums werden wir daher lieber bis auf weiteres dahingestellt sein lassen.

Es erübrigt uns somit nur die zweite Möglichkeit, daß der Gehirnvorgang, mit dem die Empfindung verknüpft ist, gleichzeitig in demselben Zentrum einen anderen Vorgang ganz anderer Art errege. Dieser letztere Vorgang muß unmittelbar mit dem ersteren einhergehen und in den verschiedenen Zentren den nämlichen Charakter haben können, so daß er sich vom Entstehungsort und von der Art des erregenden Vorgangs unabhängig zeigt. Einen solchen Prozeß kennen wir indes, nämlich die in der lebendigen tätigen Zelle die Dissimilation immer begleitende Assimilation. Wie die Empfindung durch die Art, Stärke, Ausdehnung und Dauer der Dissimilation bestimmt wird, so kann der Gefühlston von der Größe der Assimilation und ihrem Verhältnis zur Dissimilation, dem sogenannten Biotonus der arbeitenden Neurone (S. 54), abhängig sein. Da die Veränderungen der Assimilation immer gleichzeitig mit denen der Dissimilation eintreten, und da ferner solche Veränderungen sich durch einen Reiz nur auf die Weise zustande bringen lassen, daß die Größe der Dissimilation verändert wird, sind Dissimilation und Assimilation genau so miteinander verbunden wie die Empfindung und ihr Gefühlston. Hierzu kommt noch ferner, daß die Schwankungen

[1]) Meumann: Archiv für Psychol. Bd. 6, S. 82 u. f.

der Biotonus einen bedeutungsvollen Gegensatz aufweisen, demjenigen der Lust und der Unlust analog. Ein Organ kann, wie wir gesehen haben, nur wenn $\frac{A}{D} \geq 1$, seine Tätigkeit auf die Dauer fortsetzen; ist dagegen $\frac{A}{D} < 1$, die Zufuhr kleiner als der Verbrauch, muß es früher oder später zugrunde gehen. Wie schon erwähnt (S. 89), kann davon kaum die Rede sein, daß $\frac{A}{D} > 1$, solange das Organ tätig ist. Entweder erhält sich dann $\frac{A}{D} = 1$, und die Neurone können ihre Tätigkeit fortsetzen, oder aber es wird $\frac{A}{D} < 1$, und die Tätigkeit nimmt fortwährend ab, bis sie sich an den Reiz adaptiert hat. Wir stellen daher die folgende einfache Hypothese auf: *Wenn die Assimilation, während der Tätigkeit einer zentralen Neuronengruppe, der Dissimilation gleich ist,* $\frac{A}{D} = 1$, *bekundet sich dieser Zustand des Biotonus psychisch als Lust, die mit wachsenden Werten der Dissimilation und der Assimilation wächst. Wenn aber die Dissimilation größer als die Assimilation wird, der Biotonus also abnimmt,* $\frac{A}{D} < 1$, *bekundet sich dieser Zustand psychisch als Unlust, die um so größer wird, je kleiner der Wert* $\frac{A}{D}$.

Wir werden im folgenden sehen, daß diese Hypothese, die wir die dynamische nennen können, imstande ist, die wesentlichsten Erscheinungen des Gefühlslebens, die Entstehung, die Stärke und die wechselseitige Beziehung der Lust und der Unlust, ungezwungen zu erklären. Gewisse Einwände, die vom physiologischen Gesichtspunkte aus erhoben sind, können erst später (Kap. 87) erörtert und widerlegt werden.

Siebenundvierzigstes Kapitel.

Abhängigkeit des Gefühls von der Art des Reizes.

Die Gefühlstöne der Empfindungen sind nicht nur von der Art, sondern auch von der Stärke und der Klarheit der Empfindungen abhängig. Wir setzen daher vorläufig eine konstante, mittlere Reizstärke und eine konstante Aufmerksamkeitskonzentration voraus, um die Variationen des

Gefühls mit der Qualität der Empfindungen, ohne Rücksicht auf die anderen Faktoren, untersuchen zu können.

Die *Gefühlstöne der Farben* sind meistens nur schwach; es machen sich aber in dieser Beziehung große individuelle Unterschiede geltend. Im allgemeinen erregt jede einigermaßen reine Farbe Lust, die bei den hellen Farben einen *heiteren*, bei den dunklen einen *ernsten* Charakter hat. Die hellen Farben werden daher gewählt, um eine festliche Stimmung auszudrücken und zu erhöhen, während Schwarz meist die Farbe der Trauer ist. Diese erregende Wirkung der hellen und deprimierende Wirkung der dunklen Farben beruhen aller Wahrscheinlichkeit nach auf der unmittelbaren physiologischen Wirkung des Lichtes. Es ist durch Messungen festgestellt, daß die körperliche und seelische Arbeitsfähigkeit in nördlichen Gegenden, wo die Lichtstärke eine ausgesprochene jährliche Periode zeigt, mit der Lichtstärke periodisch schwankt[1]). Diese Variationen der Arbeitsfähigkeit werden nun von übereinstimmenden Organempfindungen begleitet; alles übrige gleich fühlt man sich frischer, heiterer bei hellem als bei trübem Wetter. Der Anblick heller Farben ruft nun ähnliche Organempfindungen hervor, während die dunklen Farben eine entgegengesetzte Wirkung haben; hierdurch erhält die Lust im ersteren Falle ihren heiteren, im letzteren den ernsten, herabstimmenden Charakter.

Analoge Gefühlsdifferenzen können auch, jedenfalls von vielen Menschen, zwischen den Spektralfarben bemerkt werden. Die Maler nennen die langwelligen Farben (rot-gelbgrün) *warm*, die kurzwelligen (blaugrün-violett) *kalt*. Goethe sprach von einer Plus- und Minusseite der Farben, Fechner von aktiven und passiven Farben. Alle diese Ausdrücke bezeichnen dasselbe: die langwelligen Farben sind erregend, heiter, die kurzwelligen deprimierend, ernst. Am besten treten diese Gefühlswirkungen hervor, wenn man im Spektrophotometer eine größere Fläche mit monochromatischem Lichte beleuchtet; um die Wirkung der verschiedenen Helligkeit zu eliminieren, kann man die Farben ungefähr gleich hell machen. Rot ist mir dann stark erregend, Gelb heiter, Grün beruhigend, Cyanblau heiter, aber kalt, Blauviolett stimmt melancholisch, und Purpur, durch Mischung von Rot und Violett hergestellt, erhaben-beunruhigend. Ich bezweifle nun ferner gar nicht,

---

[1]) Lehmann und Pedersen: Das Wetter und unsere Arbeit. S. 138 u. f.

daß meine individuellen Gefühle größtenteils durch Erinnerungen an die Naturverhältnisse, wo die Farben gewöhnlich vorkommen, bestimmt sind. Rot und Rotgelb ist die Farbe des Feuers und wirken daher erregend; die Erinnerung an Blut, das die meisten Menschen wohl selten in größerer Menge gesehen haben, spielt gewiß hierbei eine untergeordnete Rolle. Gelb ist die Farbe des heiteren Sonnenscheins, Grün die des ruhigen Waldes, cyanblau ist der nördliche, heitere, aber kalte Herbsthimmel, und purpurfarbig sind die Wolken des unruhigen Himmels beim prachtvollen Sonnenuntergang. Nur die melancholische Wirkung des Blauviolett kann ich mir nicht erklären; das Gefühl ist aber ebenso unzweifelhaft wie das der übrigen Farben.

Solche Modifikationen der allgemeinen Farbenfreude, wie die hier erwähnten, sind selbstverständlich zu einem gewissen Grade individuell verschieden. Die eben angeführten stimmen nur teilweise mit den Angaben Wundts überein [1]), und ebenfalls habe ich von verschiedenen Personen, die starke Farbengefühle besaßen, recht abweichende Bestimmungen erhalten. Zum Teil erklären sich diese individuellen Differenzen dadurch, daß jeder unserer Farbennamen eine große Mannigfaltigkeit von Nuancen umfaßt, die je nach Sättigung und Helligkeit verschiedene Gefühle erregen. Zum Teil spielen auch hier die verschiedenen Naturerscheinungen, die uns die Farben darbieten, mit hinein, und eine solche Abhängigkeit des Gefühls von bestimmten Naturphänomenen hat sich in allen Fällen nachweisen lassen können.

Wenn die Farbengefühle so durch Erinnerungen ihren speziellen Charakter erhalten, sind sie augenscheinlich sehr komplizierter Natur; sie gehen unmerklich in Stimmungen über, wovon später (Kap. 81) die Rede sein wird. Es ist aber gar nicht ausgeschlossen, daß außer und neben diesen Erinnerungen die direkte physiologische Wirkung des Lichtes hier auf eine eigentümliche Weise mitspielt. Beim ersten Blick kommt es recht befremdend vor, daß die blauen und violetten Farben deprimierend wirken, obschon es eben diese Strahlen sind, die durch ihre direkte physiologische Wirkung die Arbeitsfähigkeit erhöhen. Dies merken wir indes nicht unmittelbar; wir sehen nicht Blau, wenn wir das Gefühl der Frische und Aufgelegtheit haben, ebensowenig wie die Welt rot aussieht,

[1]) Phys. Psychol. 4. Aufl. Bd. 1. S. 567 u. f.

wenn wir uns matt und arbeitsunfähig fühlen. Im Gegenteil; es verhält sich vielmehr umgekehrt. Wo die Sonne scheint, nehmen alle Farben einen rötlich-gelben Ton an, während sie im Schatten mehr blau erscheinen. Deshalb sind uns die roten und gelben Farben „warm", die blauen und violetten dagegen „kalt". Ferner hat sich wahrscheinlich durch die häufige Beobachtung dieser Tatsache eine so feste Verbindung einerseits zwischen dem heiteren Sonnenschein und den roten und gelben Farben, andererseits zwischen der herabstimmenden Wirkung des trüben Wetters und den blauen Farbentönen gebildet, daß die Farbentöne schließlich die betreffenden Gefühle erregen[1]). Man könnte hier fast von einer Art Gefühlstäuschung sprechen; die Gefühle, die bei Betrachtung der Farben entstehen, sind denjenigen entgegengesetzt, die die Farbenstrahlen bei dauernder Einwirkung direkt hervorbringen. Sicher ist es jedenfalls, daß ein längerer Aufenthalt im roten Lichte des photographischen Dunkelzimmers keineswegs erheiternd wirkt.

Welche Ursachen die erwähnten verschiedenen Modifikationen des Farbengefühls auch haben mögen, kann es kaum zweifelhaft sein, daß diese Modifikationen sich als einfache Übergangsformen zwischen bestimmten Gegensätzen durchaus nicht aufstellen lassen. Die Heiterkeit des Gelb ist kein geringerer Grad der Erregung des Rot, ebensowenig wie die Heiterkeit des Cyanblau mir als ein geringerer Grad der Melancholie des Blauviolett erscheint. Diese Ausdrücke bezeichnen Stimmungen sehr verschiedener und kaum vergleichbarer Art. Ich sehe daher auch keine Möglichkeit, die Farben nach ihrer erregend-deprimierenden Wirkung zu ordnen. Die Annahme Wundts, daß es eine besondere Gefühlsrichtung, Erregung-Depression, gebe, die der Richtung Lust-Unlust gleichwertig sei und besonders die Gefühlsmodifikationen der Farben bestimme, läßt sich kaum aufrecht halten. Viel wahrscheinlicher ist die oben dargestellte Ansicht: *Die von den Farben erregten Gefühle sind sehr kompliziert. Die mit den Empfindungen unmittelbar verbundene Lust oder Unlust wird*

---

[1]) Müller-Freienfels: Zur Theorie der Gefühlstöne der Farbenempf. Zeitschr. für Psychol. Bd. 46, S. 260. Der Verfasser, der die Frage vom dynamischen Gesichtspunkte behandelt, hat die hier erwähnten Modifikationen der Gefühle nicht beachtet und in Betracht gezogen, daß sie sich nicht einfach als Stärkeunterschiede erklären lassen.

modifiziert, teils durch ebenfalls betonte Erinnerungen verschiedener Art, teils durch lust- oder unlustbetonte Organempfindungen, die auf verschiedene Weise von der direkten physiologischen Wirkung der Farben herrühren. Die so entstandenen Gefühlsmodifikationen werden mehr oder weniger zutreffend als erregend-deprimierend, heiter-ernst, beruhigend-beunruhigend charakterisiert.

Die *Tongefühle*, die einfache Töne und Klänge begleiten, sind weit weniger differenziiert als die Farbengefühle. Im allgemeinen wird man finden, daß die Lust der tiefen Töne oder Klänge einen *ernsten*, die der hohen Töne dagegen einen *heiteren* Charakter haben. Bei stets wachsender Tonhöhe fängt die Heiterkeit so wie die Lust überhaupt an, abzunehmen, um schließlich in Unlust überzugehen; wo der Übergang stattfindet, ist individuell recht verschieden. Die Reizstärke ist jedoch hier von großer Bedeutung, wovon später die Rede sein wird. Wie hohe Töne und Klänge verhalten sich nach Wundt auch Klänge mit hohen Obertönen, während Klänge mit tiefen Obertönen den ernsten Charakter der tiefen Töne besitzen; die Klänge mit sowohl hohen als tiefen Obertönen bilden den Übergang zwischen diesen Gegensätzen.

Es ist eine alltägliche Erfahrung, daß Klänge und Klangverbindungen eine nicht unerhebliche Wirkung auf den gesamten Organismus ausüben können. Selbst dem völlig Unmusikalischen, der keine Ahnung von einer musikalischen Auffassung hat, kann es passieren, daß es ihm beim Anhören einer mächtigen Komposition kalt über den Rücken läuft. Ähnliche, wenngleich weniger scharf lokalisierte und mannigfach variierte Organempfindungen bilden einen wesentlichen Teil des musikalischen Entzückens. Daß diese Organempfindungen um so ausgesprochener hervortreten, je näher man der Tonquelle ist, also je kräftiger die Töne das Nervensystem reizen, wird ebenfalls von kompetenten Musikverständigen bestätigt[1]). Es kann also kaum Zweifel unterliegen, daß eine Reizung des Gehörnerven durch Töne außer den zentralen Wirkungen, den Tonempfindungen, noch reflektorisch periphere Wirkungen ausübt, die uns als mehr oder weniger bestimmte Organempfindungen zum Bewußtsein kommen und die erregten Gefühle beeinflussen. Vielleicht spielt es hierbei auch eine Rolle, daß in der Nähe der Tonquelle nicht nur

---

[1]) Private Mitteilung von Dr. A. Hammerich, Prof. der Musikgeschichte an der Universität Kopenhagen.

der Gehörnerv erregt, sondern der ganze Körper von den Schallwellen erschüttert wird. Handelt es sich nun um isolierte Töne und Klänge, wird die organische Wirkung nur schwach und kaum lokalisierbar, sie kann aber wohl nicht völlig ausbleiben. Es wäre kaum möglich, daß Klangmassen den Organismus gewaltsam erschüttern könnten, wenn der einzelne Klang an und für sich keine Wirkung ausübte. Wir dürfen daher annehmen, daß es eben solche Organempfindungen sind, die den einzelnen Tongefühlen ihre eigentümliche Färbung verleihen, und es ist dann nicht unverständlich, daß die schnelleren Schwingungen der hohen Töne den Gefühlen einen mehr belebenden, heiteren, die langsamen Schwingungen der tieferen Töne einen trägeren, ernsteren Charakter geben.

Obwohl die zugrunde liegenden Unterschiede zwischen den Musikalischen und den Unmusikalischen bis jetzt keineswegs dargelegt sind [1]), ist es jedoch recht wahrscheinlich, daß die Empfänglichkeit des Nervensystems für die erwähnten zentrifugalen Erregungen durch Töne einen wesentlichen Faktor dieses Unterschiedes bildet. Nun fühlen indes auch solche Personen, die keinen Sinn für Musik haben, deutlich den Unterschied zwischen den Gefühlsmodifikationen der hohen und der tiefen Töne. Es scheint mir daher nicht unwahrscheinlich, daß der ernst-heitere Charakter der Tongefühle, den Farbengefühlen analog, durch eine feste Verbindung der Klänge oder Geräusche mit bestimmten Naturvorgängen unterstützt und verstärkt wird, eventuell auch dadurch entstehen kann. Wir finden nämlich fast durchgängig tiefe Klänge und Geräusche mit den gewaltsamen, erschreckenden Wirkungen gewisser Naturerscheinungen verbunden, während die schwächeren, erfreulicheren Wirkungen derselben Erscheinungen von hohen Geräuschen begleitet sind. Bei stillem Wetter rieseln die Meereswellen über den Sand, im Sturm donnert die Brandung gegen das Ufer. Vom leisen Winde bewegt säuselt das Laub der Bäume, während der Sturm mit tiefem Getöse durch den Wald fährt. Die kleineren, schwächeren und unschädlichen Tiere haben fast durchweg hohe Stimmen, die uns erfreuen; das tiefe Brüllen der großen und gefährlichen Tiere tönt uns dagegen drohend entgegen. Obwohl die Naturvölker mit

---

[1]) Die Tonanomalie ist ja nur eine Ursache des fehlenden Sinnes für Musik; dieselbe Wirkung kann aber zweifellos von verschiedenen Ursachen herrühren.

diesen Erscheinungen und den dadurch erregten Gemütsbewegungen vertrauter sind als die in die Städte eingeschlossenen Kulturmenschen, sind die letzteren jedoch keineswegs von solchen Erregungen unberührt. Das dumpfe Rollen des unheimlichen Donners wird jedenfalls überall gehört, und mit dem Höhenunterschied der weiblichen und der männlichen Stimme, der dem heitereren Gemüt des Weibes, dem ernsteren Benehmen des Mannes entspricht, ist wohl ebenfalls ein Moment gegeben. Es ist somit leicht verständlich, daß die mit den Klängen verbundene Lust durch lust- oder unlustbetonte Vorstellungen verschiedener Art Modifikationen unterworfen sein kann.

Die Gefühle der übrigen Sinne. Während der erregend-deprimierende oder heiter-ernste Charakter der Farben- und Tongefühle zum Teil durch mitwirkende, komplizierte Gefühle, lust- oder unlustbetonte Vorstellungen zustande kommt, indem die direkte physiologische Wirkung der Reize eher eine untergeordnete Rolle spielt, so macht sich bei den übrigen Sinnen fast ausschließlich der direkte körperliche Faktor geltend. Wir sehen dies schon bei den Temperaturgefühlen. Sowohl Kälte als Wärme kann, je den Umständen nach, angenehm oder unangenehm sein. Jede Lufttemperatur, der sich die Haut nicht so anpassen kann, daß sie binnen kurzem weder warm noch kalt empfunden wird, wirkt auf die Dauer unangenehm, und diese Unlust trägt wohl immer einen herabstimmenden Charakter. Bei heißem Wetter wirkt dann eine Abkühlung, in der Kälte eine Erwärmung angenehm, und zwar ist diese Lust immer erregend. Die Ursache dieser Nebenwirkung scheint mir nicht zweifelhaft zu sein. Wir wissen, daß die körperliche und seelische Arbeitsfähigkeit eines Menschen ein, übrigens individuell verschiedenes Temperaturoptimum hat, das innerhalb sehr enger Grenzen liegt [1]). Eine Abweichung der Temperatur von nur wenigen Graden entweder nach oben oder nach unten führt daher bald eine Herabsetzung der Arbeitsfähigkeit herbei, und diese Verminderung der Leistungsfähigkeit ist als Trägheit, allgemeine Indisposition leicht merklich. Lufttemperaturen, die auf die Dauer kalt oder warm empfunden werden, sind nun vom Temperaturoptimum recht weit entfernt, und es ist mithin leicht erklärlich, wie die mit der Temperaturempfindung un-

[1]) Lehmann und Pedersen, a. a. O. S. 151 und 196.

mittelbar verbundene Unlust durch die verminderte Leistungsfähigkeit einen herabstimmenden Charakter erhält. Nähert sich dann die Temperatur dem Optimum, wird eine angenehme Erwärmung, bzw. Abkühlung, empfunden, und diese Lust wird leicht erregend, indem sich gleichzeitig die Leistungsfähigkeit des Organismus steigert.

Auf dem Gebiete der Geschmacks- und Geruchsempfindungen, wo die Reize meistens außer den Empfindungen des betreffenden Sinnes noch zahlreiche andere Sinnes- und Organempfindungen erregen, werden die Gefühle entsprechend modifiziert. Die Gefühle der vier einfachen Geschmacksempfindungen haben wohl keinen besonderen Charakter; die Empfindungen sind je nach der Stärke der Reize entweder angenehm oder unangenehm. Wenn die Geschmacksreize aber kompliziertere Wirkungen haben, wird damit auch die Mannigfaltigkeit der Gefühle so groß, daß sie sich schwerlich in bestimmte Reihen einordnen lassen. Mit Bezug auf das Essen bestehen jedoch zwei Gegensätze von der größten Bedeutung: die Gefühle können einen *appetiterregenden* oder *ekelhaften* Charakter haben. In beiden Fällen handelt es sich nachweisbar um bestimmte Organempfindungen. Der Geschmack einer appetitlichen Speise verstärkt die Empfindungen des Hungers, so daß der Eßtrieb (Eßlust) auch stärker wird. Mit dem ekelhaften Geschmack dagegen entsteht eine Neigung zum Erbrechen; man empfindet die antiperistaltischen Bewegungen, wodurch der Magen seinen Inhalt zu beseitigen sucht[1]). Die von den Geschmacksempfindungen erregten Organempfindungen bringen also ihre besonderen Gefühlsmodifikationen hervor, die sich in die starren Rahmen einer dreidimensionalen Gefühlstheorie kaum einordnen lassen.

Die oft sehr komplizierten Geruchsempfindungen sind natürlich auch mit verschiedenen Nebenwirkungen verbunden. Viele derselben zeigen einen eigentümlichen Gegensatz, der sich wohl am besten als *erfrischend-betäubend* bezeichnen läßt. Solche Modifikationen können sowohl bei Lust- als bei Unlustgefühlen vorkommen; als ausgesprochene Repräsentanten dieser Wirkungen können die folgenden vier Stoffe angegeben werden.

[1]) Sternberg: Geschmack und Appetit. Zeitschr. für Sinnesphysiol. Bd. 43, S. 315.

Lust.	erfrischend: Mentol;	betäubend: Chloroform;	
Unlust.	„ Ammoniak;	„ Schwefelkohlenstoff.	

Außer diesen vier können noch zahlreiche andere, sowohl übel- als wohlriechende Stoffe gefunden werden, die dieselben Modifikationen des Gefühls in verschiedenen Stärkegraden zeigen. Bei genauer Beobachtung überzeugt man sich nun leicht davon, daß die eigentümlichen, erfrischend-betäubenden Wirkungen des Geruchs von bestimmten genau lokalisierbaren Nebenempfindungen abhängig sind. Die erfrischenden Gerüche sind immer von einem Prickeln hinten in der Nase oder im Schlunde begleitet; mit der Stärke dieser Empfindung wächst die erregende Wirkung des Reizes. Das Prickeln ist genau dieselbe Empfindung, die beim Genuß kohlensäurehaltiger Getränke entsteht; ihre erfrischende Wirkung verdanken die letzteren wahrscheinlich ebenfalls dieser Empfindung. Die entgegengesetzte, betäubende Wirkung anderer Gerüche geht dagegen mit einer besonderen Empfindung der Glattheit im Schlunde einher. Viele andere Stoffe als die oben erwähnten erregen weniger ausgesprochen dieselbe Glattheit, während natürlich noch viel mehr Geruchsreize weder vom Prickeln noch von der Glattheit begleitet sind; es geht ihnen dann auch der Charakter erfrischend-betäubend ab.

Wie diese Empfindungen des Prickelns und der Glattheit zustande kommen, läßt sich wohl nicht genau entscheiden. Wahrscheinlich rührt das Prickeln von einer Reizung der Tastorgane her, während die Glattheit eher von einer durch die Narcotica herbeigeführten Herabsetzung der Empfindlichkeit dieser Organe bedingt ist, so daß der Luftstrom durch die Nase und den Schlund nicht wie normal empfunden wird. Zweifellos sind aber diese Empfindungen nur genau lokalisierte Teilerscheinungen all der körperlichen Veränderungen, die durch die in der Atmungsluft vorkommenden Geruchsstoffe verursacht werden. Wie es sich nun auch hiermit verhalte, haben wir jedenfalls bestimmte, die eigentlichen Geruchsempfindungen begleitende Nebenempfindungen, die dem Gefühle eine eigentümliche Färbung geben, und wo diese Nebenempfindungen ausbleiben, fällt auch die Färbung weg. Die Verhältnisse sind also denjenigen der Geschmacksempfindungen analog. Wenn ein Geschmack die Empfindung des Hungers verstärkt, ist er appetiterregend; wird er dagegen von der Empfindung des Erbrechens begleitet, nennen wir ihn ekelhaft; der fade Geschmack ist weder mit der einen noch mit

der anderen Empfindung verbunden. Diese Tatsachen sind um so bedeutungsvoller, als wir hier bestimmte Gefühlsmodifikationen direkt auf bestimmte Nebenempfindungen zurückführen können. Bei den Gesichtsempfindungen ist es zwar wahrscheinlich, daß die heiter-ernste oder erregend-deprimierende Modifikation der Farbengefühle zum Teil von der direkten Wirkung des Lichtes herrührt; die zahlreichen mitwirkenden Vorstellungen, die den Farbengefühlen einen stimmungsähnlichen Charakter geben, verdecken aber diese physiologische Wirkung. Ganz ähnlich verhalten sich die Tongefühle. Bei den Temperaturempfindungen geht die erregend-herabstimmende Wirkung gewisser Temperaturen oder Temperaturveränderungen zweifellos mit der Empfindung einer allgemeinen Aufgelegtheit oder Indisposition einher; es ist aber schwierig zu beweisen, daß die Modifikationen des Gefühls eben von diesen Dispositionsempfindungen herrühren und nicht ebensowohl bestehen würden, wenn die letzteren wegfielen. Bei den Geschmacks- und den Geruchsempfindungen dagegen läßt es sich leicht konstatieren, daß die Modifikationen des Gefühls von der Gegenwart der Nebenempfindungen abhängig sind, wodurch, wie ersichtlich, eine sichere Grundlage für die Annahme mitwirkender Organempfindungen erreicht ist. Wir können daher feststellen:

Die sogenannten einfachen Gefühle bestehen keineswegs nur aus einer Empfindung und der damit verbundenen Lust oder Unlust. Es ist sehr wahrscheinlich, daß in allen Fällen besonders Organempfindungen mitwirken; bei den Farben- und Tongefühlen ist außerdem die Beteiligung komplizierter Vorstellungen nachweisbar. Hierdurch entstehen die mannigfachen Modifikationen oder Färbungen des Gefühls, die als erregend-deprimierend, beruhigend-beunruhigend, heiter-ernst, appetiterregend-ekelhaft, erfrischend-betäubend usw. charakterisiert werden.

Achtundvierzigstes Kapitel.

Abhängigkeit des Gefühls von der Stärke der Reize.

Bisher wurde von der Intensität der Reize abgesehen, was notwendig war, um die von den Qualitäten herrührenden Gefühlsfärbungen nachzuweisen. Mit der Reizstärke variiert indes auch das Gefühl und zwar in betreff sowohl der Art als der Stärke. Da übrigens, wie wir wissen, Veränderungen

der Reizstärke auch qualitative Veränderungen der erregten Empfindungen herbeiführen können, so sind besondere Gefühlsfärbungen als Folge reiner Intensitätsvariationen eines Reizes keineswegs ausgeschlossen. Wir betrachten zuerst die allgemeinen Stärke- und Artsvariationen des Gefühls bei Veränderungen der Reizstärke, und um die von der Klarheit der Empfindungen herrührenden Schwankungen des Gefühls auszuschließen, setzen wir eine konstante, möglichst gespannte Aufmerksamkeit voraus.

Was unter diesen Umständen zu erwarten steht, geht einfach aus der oben dargestellten Theorie der Gefühle hervor. Wenn der Reiz eben die Reizschwelle erreicht und eine Empfindung entsteht, so müßte, der Theorie zufolge, mit der wachsenden Assimilation auch der Gefühlston eben merklich werden. In der Tat verhält es sich auf einigen Sinnesgebieten wirklich so, daß ein schwaches Lustgefühl fast mit der eben merklichen Empfindung gegeben ist; dies gilt z. B. für die Geruchs- und Geschmacksempfindungen. In anderen Fällen dagegen, z. B. bei den Farben und Tonempfindungen, ist die Gefühlsbetonung schwacher Empfindungen kaum merklich; man bemerkt aber dann leicht, daß der gesamte Bewußtseinszustand von den mit der Aufmerksamkeitskonzentration verbundenen Spannungsempfindungen stark beeinflußt wird. Je mehr solche Spannungsempfindungen sich geltend machen, um so mehr muß der Reiz die Reizschwelle überschreiten, damit das Gefühl merklich werden kann. Hierdurch werden diese Abweichungen erklärlich. Das Auffinden der ersten schwachen Spur einer Farbenempfindung z. B. erfordert eine so große Konzentration der Aufmerksamkeit und Spannung der Augenmuskeln, daß der Zustand leicht unlustbetont wird; es kann daher nicht wundernehmen, daß die äußerst schwache Lust der Farbenempfindung sich nicht geltend machen kann. Im allgemeinen läßt sich daher sagen, *daß ein Gefühlston bei einer Reizstärke merklich wird, die auf den verschiedenen Sinnesgebieten je nach den sich geltend machenden Spannungsempfindungen mehr oder weniger von der Reizschwelle abweicht.*

Da ferner mit wachsender Reizstärke die Dissimilation und damit auch die Assimilation wächst, so müssen, der Theorie zufolge, die Gefühle mit der Reizstärke wachsen, was tatsächlich auf allen Sinnesgebieten der Fall ist. Wie schnell aber die Stärke des Gefühls zunimmt, ist ganz und gar von der speziellen Natur der Reize abhängig, indem nicht nur die ver-

schiedenen Sinnesgebiete, sondern auch die einzelnen Reize desselben Gebietes sich in dieser Beziehung verschieden verhalten. Die Farben- und Tongefühle z. B. nehmen relativ langsam an Stärke zu, und wenn sie ihr Maximum erreicht haben, können die Reize noch bedeutend zunehmen, ohne daß eine Veränderung des Gefühls merklich wird. Ebenso verhalten sich einige Gerüche und Geschmacksempfindungen (süß); andere dagegen erreichen sehr schnell ihr Maximum (bitter). Dieser Unterschied der verschiedenen Gefühle beruht zweifellos auf dem früher erwähnten Umstand, daß einige Empfindungen sehr stark, andere dagegen äußerst langsam mit wachsender Reizstärke zunehmen (S. 311). Je geringer die Stärke der Empfindung, selbst bei maximaler Reizung, wird, um so größer kann selbstverständlich die Reizstärke werden, ohne daß das Gefühl sein Maximum erreicht. Wächst dagegen die Empfindung, d. h. der zentrale psychophysiologische Vorgang, sehr schnell mit wachsender Reizstärke, so erreicht auch das Gefühl bald eine große Intensität, indem A mit D wachsen muß, wenn konstant $\frac{A}{D} = 1$. Diese Abhängigkeit des Gefühls von der Größe der Dissimilation ersieht man am besten, wenn man verschiedene Empfindungen desselben Sinnesgebietes vergleicht. Vanillegeruch und ähnliche Blumendüfte haben sehr geringe Riechkraft, d. h. sie können trotz großer Reizstärke keine große Empfindungsstärke erreichen; die betreffenden Gefühle überschreiten daher fast nie das Maximum. Dagegen hat z. B. Ammoniak eine große Riechkraft; der Geruch, der bei geringer Reizstärke angenehm ist, erreicht mit wachsender Reizstärke sehr bald eine keineswegs angenehme Intensität. Obwohl die Farben im allgemeinen erst bei sehr großer, blendender Helligkeit eine Abnahme des Lustgefühls zeigen, findet man dennoch, daß Rot und Gelb nur eine relativ geringe Reizstärke vertragen, weil die Empfindungsstärke dieser Farben mit wachsender Reizstärke sehr stark zunimmt (vgl. Tab. 10).

Sobald der Biotonus abzunehmen anfängt, $\frac{A}{D} < 1$ wird, geht die Lust, der Theorie zufolge, in Unlust über. Dies stimmt wohl auch meistens mit den faktischen Verhältnissen überein. Wird die Reizstärke stets größer, muß schließlich $A < D$ werden, und die Erfahrung lehrt, daß die höchste Lust sehr oft unmittelbar an die Unlust grenzt. Gewöhnlich treten aber bei diesem Übergang Schwankungen ein; die Unlust ist

nur momentan merklich, verschwindet wieder, um dann bald nachher mit größerer Stärke einzusetzen. Diese Oszillationen rühren zweifellos von wechselnden Zuständen des Organismus her; in einem Moment können die Neurone den gestellten Forderungen entsprechen, im nächsten Moment sinken die Kräfte, um dann wieder ein wenig zu wachsen. Nimmt die Reizstärke ferner zu, erhalten die Unlustmomente immer mehr das Übergewicht, und auf diese Weise wird der Übergang von Lust zu Unlust nicht plötzlich bei einer bestimmten Reizstärke, sondern allmählich eintreten, bis die Unlust schließlich allein hervortritt. Ein indifferenter, weder lust- noch unlustbetonter Übergangspunkt findet sich jedenfalls nie, was speziell zu diesem Zwecke angestellte Versuche mit Farben- und Temperaturreizen gezeigt haben [1]). Hierzu trägt übrigens noch der Umstand bei, daß schon vor dem Punkte, wo die Unlust aufzutreten anfängt, unangenehme Empfindungen ganz anderer Art sich hineinmischen und den gesamten Gefühlszustand beeinflussen. Die Beobachtungen stimmen somit im ganzen viel besser mit unserer Theorie überein, die einen jähen Übergang von der höchsten Lust zur schwachen Unlust erfordert, als mit der Annahme eines allmählichen Überganges durch einen Indifferenzpunkt.

Es gibt indes eine, vielleicht nur scheinbare Ausnahme von der dargestellten allgemeinen Variation des Gefühls, indem gewisse Reize, sobald sie überhaupt merklich werden, auch Unlust erregen. Dies gilt von einigen widrigen und ekelhaften Gerüchen — der gewöhnliche, käufliche Schwefelkohlenstoff z. B. scheint mir schon bei der Reizschwelle übelriechend — und ferner von zahlreichen Empfindungen im Inneren des Körpers, die nur unlustbetont, als Schmerzen, auftreten. Das Verhältnis läßt sich vielleicht so auffassen, daß das Lustmaximum schon bei einer so geringen Reizstärke eintritt und die Lust mithin nur eine so geringe Stärke erreicht, daß sie kaum merklich wird. Auf diese Weise lassen sich derartige Fälle jedenfalls der allgemeinen Gesetzmäßigkeit unterordnen.

Gewöhnlich werden die Stichempfindungen der Haut ebenfalls als Beispiel der Empfindungen angeführt, die schon bei der kleinsten Reizstärke unlustbetont auftreten; eben deshalb werden diese Zustände Schmerzempfindungen genannt. Dem oben (S. 324 und 331) angeführten zufolge ist diese Auffassung

---

[1]) Lehmann: Hauptgesetze des Gefühlslebens. S. 177 u. f.

gewiß falsch. Eine sehr schwache Reizung der Stichorgane erregt Kitzel, der keineswegs unangenehm ist, jedenfalls erst dann, wenn größere Hauptpartien gereizt werden. Selbst im letzteren Falle ist es aber zweifelhaft, ob die Empfindungen als solche unangenehm sind. Die Stichorgane haben nun einmal die Aufgabe, die Körperoberfläche gegen schädliche Angriffe zu schützen, und eine Reizung derselben löst daher reflektorisch Abwehrbewegungen aus. Diese kommen auch leicht bei den schwachen, kitzelnden Reizungen zustande; man ist aber meistens geneigt, sie willkürlich zu unterdrücken, weil die Abwehrbewegungen hier ja eigentlich unnötig sind. Meines Erachtens ist nun die Anstrengung, um diese unnötigen Reflexe zu hemmen, das unangenehme des Kitzelns, während die Kitzelempfindung selbst eher angenehm als unangenehm ist. Das Jucken dagegen fängt schon an, entschieden unangenehm zu werden, und bei noch stärkerer Reizung treten die ausgesprochenen Schmerzen auf. Die verschiedenen Arten derselben erhalten wahrscheinlich ihren besonderen Charakter (Hämmern, Bohren, Jagen, Stechen usw.) durch Unterschiede der Stärke, der räumlichen Ausdehnung und der Dauer der einzelnen Reizungen.

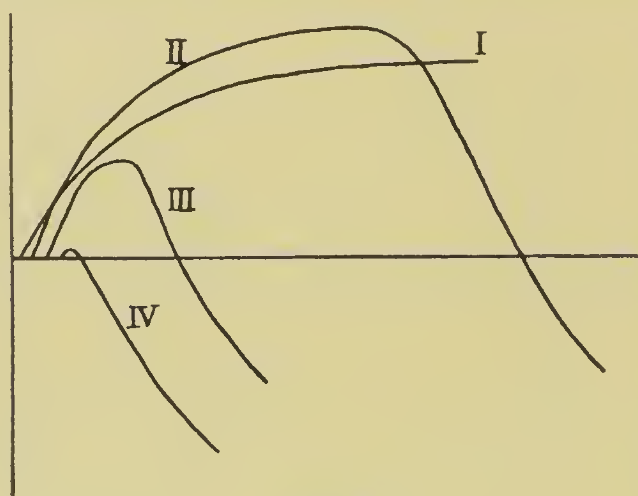


Fig. 58.

Wir können also hiernach feststellen: *Wenn in der Nähe der Reizschwelle eine schwache Lust merklich geworden ist, wächst das Gefühl mit wachsender Reizstärke bis zu einem Maximum, um dann jäh, aber gewöhnlich oszillierend in Unlust überzugehen, die ferner mit wachsender Reizstärke fortwährend zunimmt. Die einzelnen Phasen dieses Verlaufs können selbst auf demselben Sinnesgebiete für verschiedene Reize sehr verschieden sein; als Grenzfälle kommt es vor, daß die Lust einerseits bei schwachen Reizen unmerklich wird, so daß die Empfindung nur unlustbetont auftritt, und andererseits selbst bei den größten Reizen nicht in Unlust übergeht.*

Die Fig. 58 gibt eine graphische Darstellung dieser Verhältnisse, indem die Reizstärke als Abszisse, die Stärke des

Gefühls als Ordinate abgesetzt ist; positive Ordinaten bedeuten Lust, negative dagegen Unlust. Die Kurven *I* und *IV* repräsentieren die beiden Grenzfälle, wo ausschließlich Lust, respektive Unlust auftritt; *II* und *III* stellen ein paar der gewöhnlicheren Fälle dar.

Es sei nur noch erwähnt, daß das Gefühl bei wachsender Reizstärke sich nicht immer nur in intensiver und qualitativer Beziehung verändert; auch die früher besprochenen Modifikationen des Gefühls können mitunter variieren. Dies läßt sich besonders bei den Farbengefühlen beobachten; indem die Farbe mit wachsender Reizstärke heller, mit abnehmender dunkler wird, tritt die erregend-deprimierende Wirkung der größeren oder geringeren Helligkeit deutlich hervor.

Neunundvierzigstes Kapitel.

Abhängigkeit des Gefühls von der Dauer der Reize.

Jedes Gefühl muß eine gewisse Zeit dauern, um seine volle Stärke zu erreichen. Die Länge dieser Zeit ist von der Art und der Stärke der Empfindungen abhängig; es wurde schon oben (S. 361) erwähnt, daß die von Nakashima gemessenen Zeiten aller Wahrscheinlichkeit nach die Differenzen zwischen dem Empfindungs- und dem Gefühlsmaximum angeben. Dauert die Reizung fort, verändert sich das Gefühl sowohl in qualitativer als in intensiver Beziehung, und diese Veränderungen können, unserer Theorie zufolge, als einfache Konsequenzen von der Variation der zentralen Erregungen abgeleitet werden.

Die Erregung eines Sinnesorgans ist, wie wir wissen, von der Dauer der Reizung abhängig. Wenn die Assimilation der im Sinnesorgane stattfindenden Dissimilation das Gleichgewicht nicht halten kann, wird bei dauernder Reizung die Dissimilation abnehmen, bis das Gleichgewicht des Stoffwechsels eingetreten ist (S. 84). Hat sich das Organ auf diese Weise an den Reiz adaptiert, so erhält sich die Menge der Dissimilationsprodukte konstant, und es wäre mithin eine konstante zentrale Erregung zu erwarten. Dies ist z. B. bei den Schallempfindungen tatsächlich auch der Fall (S. 293). Wir haben aber im vorhergehenden gesehen (S. 224, 312, 320), daß auf vielen Sinnesgebieten die Empfindung, nachdem sie ihr Maximum erreicht hat, nicht konstant bleibt, sondern

wieder abnimmt, was sich wohl nur so auffassen läßt, daß eine Abnahme der peripheren und mithin auch der zentralen Dissimilation stattfindet. Unserer Theorie zufolge muß hiermit auch die Stärke des Gefühls abnehmen. Es sei nämlich das Gefühl eine Lust, dann ist der Biotonus der zentralen Neurone konstant $\frac{A}{D} = 1$. Mit abnehmenden Werten des D sinkt dann gleichzeitig A; die Lust wird schwächer. Ist das Gefühl dagegen eine Unlust, ist der zentrale Biotonus $\frac{A}{D} < 1$; mit abnehmenden Wert des D wächst dann $\frac{A}{D}$. Die Assimilation A nimmt zwar auch mit sinkenden Werten D ab, in diesem Falle aber, wegen der Menge der vorhandenen Dissimilationsprodukte, die die Größe des A bestimmen, relativ langsamer als D (vgl. Gleich .13). Daß $\frac{A}{D} < 1$ sich dem Werte 1 nähert, bedeutet aber einfach, daß das Unlustgefühl schwächer wird. Nach der Theorie steht also zu erwarten, daß sowohl Lust- als Unlustgefühle bei dauernder konstanter Reizung abnehmen werden, was die Erfahrung denn auch durchweg bestätigt.

Wie weit diese sogenannte *Abstumpfung* des Gefühls fortschreiten kann, ist ganz und gar von den Umständen abhängig. Auf verschiedenen Sinnesgebieten kann die Adaptation des Organs für schwache lust- oder unlustbetonte Reize einen solchen Grad erreichen, daß die Empfindung beinahe unmerklich wird; eine solche schwache Empfindung ist aber von keinem merklichen Gefühl begleitet, und dann läßt sich unter günstigen Umständen — wenn fremde Reize ausgeschlossen werden können — ein wirklich indifferenter Zustand beobachten. Bei Geruchsempfindungen z. B. ist dieser indifferente Zustand leicht zu beobachten. Handelt es sich dagegen um stärkere Reize, verschwindet die Empfindung kaum je, und das Gefühl würde mithin fortdauern, wenn fremde Faktoren nicht hinzuträten und den Zustand beeinflüßten, was aber fast immer geschieht. Dauernde, starke Geruchsreize z. B. können leicht Kopfweh verursachen, und Geschmacksreize sind auf die Dauer wohl nicht ohne Einfluß auf den Magen; die Beeinträchtigung des Genusses durch Unlustgefühle anderer Art ist also hier leicht verständlich. Die Farben- und Tongefühle, die selbst bei optimaler Reizstärke der einfachen Reize immer nur schwach sind, nehmen wegen der Adaptation leicht so stark ab, daß sie die Aufmerksamkeit nicht zu fesseln vermögen; es stellt

sich dann Müdigkeit oder Langeweile ein. So gehen schließlich, bei fortgesetzter Reizung, alle einfachen Lustgefühle aus verschiedenen Ursachen in Unlust über.

Ob starke Unlustgefühle auf analoge Weise in Lust übergehen können, ist recht unwahrscheinlich; aus eigener Erfahrung kenne ich jedenfalls kein solches Beispiel. Der Theorie zufolge ist es einfach als unmöglich anzusehen, da $\frac{A}{D} < 1$ bei dauernder Reizung zwar wachsen, aber während der Tätigkeit des Organs den Wert 1 nicht überschreiten kann (S. 89). Dagegen können diese Gefühle gewiß so abgestumpft werden, daß sie schließlich indifferent werden. Ehe dieser Punkt erreicht wird, bemerkt man dann gewöhnlich, wenigstens bei körperlichen Schmerzen, eine eigentümliche Erscheinung: die Schmerzen werden intermittierend, hören plötzlich auf, um ein wenig später wieder einzusetzen. Die Annahme ist wohl nicht unwahrscheinlich (vgl. Kap. 87), daß es sich hierbei um vasomotorische Veränderungen handelt, die sich als Schutzvorrichtung gegen eine übermäßige Anstrengung der zentralen Neurone einstellen. Durch eine verminderte Zufuhr von Sauerstoff wird die Zersetzbarkeit der Biogene herabgesetzt, womit die Stärke der Empfindung abnimmt. Indem aber der zentrale Vorgang, der die Gefäßverengerung hervorgerufen hat, nachläßt oder aufhört, ist die Ursache des Reflexes weggefallen, und die Gefäße erweitern sich aufs neue und führen den Biogenen wieder Sauerstoff zu, so daß sie ihre normale Zersetzbarkeit erhalten, womit der Schmerz wieder entbrennt[1]). Nach einigen solchen Schwankungen stellt sich dann schließlich ein fast indifferenter Zustand ein, indem die Schmerzen kaum merklich werden. Wir finden also im allgemeinen:

Die einfachen Gefühle treten fast gleichzeitig mit der Empfindung in voller Stärke auf. Bei dauernder Reizung nimmt darauf die Stärke sowohl der Lust- als der Unlustgefühle ab. Diese Abstumpfung des Gefühls ist teils eine Folge der Adaptation der Sinnesorgane und kann bei schwachen Reizen bis zum Aufhören des Gefühls fortschreiten, teils rührt sie von Veränderungen her, die eine Folge der dauernden Reizung sind und den Gefühlszustand beeinflussen. Ein Lustgefühl kann hierdurch schließlich in Unlust übergehen; starke Unlustgefühle können intermittierend fast zur Indifferenz abgestumpft werden.

---

[1]) Lehmann: Psychodynamik. S. 491.

Es ist indes noch eine besondere Wirkung sowohl kontinuierlich wirkender als häufig wiederholter Reize zu berücksichtigen. Jede hinreichend große Veränderung der konstanten Lebensbedingungen, denen sich der Organismus angepaßt hat, wirkt als Reiz. Wer jahrelang am Meeresniveau gelebt hat, ist den Schwankungen des Luftdrucks um 760 mm angepaßt; wird dieses Individuum schnell in eine Höhe von etwa 3000 m über das Meeresniveau gehoben, wirkt die ungewohnte Luftdruckverminderung als starker Reiz: man wird bergkrank. Gelingt es dem Organismus, bei dauerndem Aufenthalt in dieser Höhe, sich dem Luftdruck anzupassen, verschwinden nach und nach die Krankheitssymptome; bei der Rückkehr zum Meeresniveau treten dann aber andere unangenehme Empfindungen auf. Ganz analoge Erscheinungen können durch Sinnesreize herbeigeführt werden. Hat sich der Organismus an eine ungewöhnlich hohe Lufttemperatur, die anfangs sehr unangenehm gefühlt wurde, schließlich so adaptiert, daß die Wärme nicht unangenehm gefühlt wird, so wird jede hinlänglich große Herabsetzung der Temperatur eine unangenehme Abkühlung. Der Organismus vermißt einfach die höhere Temperatur, und die Befriedigung dieses Bedürfnisses wird Lust erwecken. Auch bei ursprünglichen Lustgefühlen, die bis zur Unmerklichkeit abgestumpft sind, tritt dieselbe Erscheinung hervor. An dem Grade der Ordnung, der Reinlichkeit, der Traulichkeit und des Luxus, mit welchem wir uns im täglichen Leben umgeben, haben wir unsere „standard of life“, der wir selten besondere Aufmerksamkeit schenken, bis sie an irgendeinem Punkte unter das Normale sinkt, was sogleich eine Unlust erregt. Die Wiederherstellung des normalen Verhältnisses ist dann von Lust begleitet. Wie aus diesen Beispielen ersichtlich, ist es gar nicht notwendig, daß die Reize, an die man sich gewöhnt, konstant einwirken; eine häufige Wiederholung der Reize zu bestimmten Zeiten genügt manchmal, um die Angewöhnung zustande zu bringen. Das bekannteste Beispiel dieser Art ist wohl das Tabakrauchen. Durch häufige Wiederholung wird erst das ursprüngliche Unlustgefühl geschwächt, und nachdem sich der Organismus im Laufe kürzerer oder längerer Zeit an das Gift gewöhnt hat, wird das Ausbleiben des Reizes in bestimmten Momenten unangenehme Organempfindungen hervorrufen. Die Beseitigung dieser Unlustgefühle durch das Rauchen ist dann von Lust begleitet. Aus diesen und ähnlichen Beispielen geht also hervor:

Wenn ein Lust- oder Unlustgefühl entweder durch konstante Reizung oder durch häufige Wiederholung des Reizes bis zur Unmerklichkeit abgestumpft ist, wird das Wegfallen oder Ausbleiben des Reizes in bestimmten Momenten von Unlust begleitet sein. Die Wiederherstellung der normalen Verhältnisse erregt dann Lust.

Dies sogenannte „Gesetz von der Unentbehrlichkeit des Angewöhnten“ drückt, wie leicht ersichtlich, nur die physiologische Tatsache aus, daß jede hinlänglich große Veränderung der normalen Lebensbedingungen ein unlusterregender Reiz ist, dessen Beseitigung Lust hervorruft.

Fünfzigstes Kapitel.

Abhängigkeit des Gefühls vom körperlich-seelischen Gesamtzustande.

Die Umstimmungen. Die vorhergehende Darstellung der Abhängigkeit des Gefühls von der Art, der Stärke und der Dauer des Reizes kann nur unter der Voraussetzung richtig sein, daß das Individuum sich in einem konstanten Normalzustande befindet. Jede Veränderung des Zustandes des Organismus beeinflußt nämlich oft sogar recht erheblich das Gefühlsleben. Beispiele solcher Veränderungen sind wohlbekannt. Je nachdem das Individuum gesättigt oder hungrig, frisch oder müde, gesund oder krank ist, wechselt das von einem gegebenen Reize erregte Gefühl. Der Geruch kräftiger Speisen kann dem Hungrigen stark lustbetont, dem Gesättigten indifferent und dem an einem körperlichen Übel Leidenden entschieden unangenehm sein. Wenn die Arbeitsfähigkeit des Organismus aus irgendeiner Ursache herabgesetzt ist, kann eine unter normalen Umständen ansprechende Beschäftigung leicht unerträglich werden. Daß Kranke der Ruhe bedürfen, kein Gespräch oder Geräusch in ihrer Nähe ertragen können, heißt ja nur, daß solche Schallreize, die einen gesunden Menschen durchaus nicht affizieren, sie angreifen und mithin unlusterregend sind. In diesen und ähnlichen Fällen finden wir stets, daß der gesunde, kräftige, unermüdete Organismus, ohne Unlust zu fühlen, viel stärkere Reize erträgt als der auf irgendeine Weise geschwächte Organismus.

Nach unserer Theorie der Gefühle ist es denn auch leicht erklärlich, weshalb das von einem gegebenen Reize erregte Gefühl mit dem Zustande des Organismus variiert. Jede

Änderung des Ernährungs- und Gesundheitszustandes muß notwendig auf den Stoffwechsel und somit auf die Leistungsfähigkeit der zentralen Neurone influieren. Der geschwächte Organismus wird daher schwieriger als der kräftige den gestellten Ansprüchen gerecht werden können. Eine Tätigkeit, die unter normalen Umständen den Biotonus der zentralen Neurone nicht herabsetzt, kann, wenn der Organismus durch Krankheit oder Ermüdung geschwächt worden ist, leicht $\frac{A}{D} < 1$ machen und mithin unlustbetont werden.

Es gibt indes einige scheinbare Ausnahmen von dem Satze, daß die Schwächung des Organismus seine Empfänglichkeit für Unlustgefühle steigert. Im letzten Stadium der Lungentuberkulose, wo die Kräfte des Kranken auf ein Minimum reduziert sind, treten Unlustgefühle weder besonders stark noch zahlreich hervor. Der Kranke hat keine Schmerzen, seine Stimmung ist fast gehoben, er sieht der Zukunft hoffnungsvoll entgegen. Es kann keinem Zweifel unterliegen, daß eine Abnahme der Unlustgefühle hier mit der körperlichen Schwäche einhergeht. Wegen der Destruktion der Lungen ist aber eben in diesem Falle die Oxydation des Blutes sehr mangelhaft, und hieraus folgt notwendig, daß auch die zentralen Neurone ungenügend mit Sauerstoff versorgt werden. Es wurde schon oben (S. 385) erwähnt, daß eine Herabsetzung der Dissimilation der zentralen Biogene durch verminderte Zufuhr von Sauerstoff als Schutzvorrichtung des normalen Organismus vorkommt, wodurch eben eine geringere Empfänglichkeit für Unlustgefühle erzielt wird. Es ist somit verständlich, daß bei der Lungentuberkulose eine Abnahme der Unlustgefühle die körperliche Schwäche begleitet.

Ferner kommt es nach größeren Darmoperationen vor, daß die Operierten sich besonders leicht und wohl fühlen, und dann ist fast mit Sicherheit die Prognose auf tödlichen Ausgang der Krankheit zu stellen. Wenn der Kranke dagegen über innere Schmerzen klagt, dann heilt die Wunde, und die Nachwirkungen verlaufen günstig [1]). Die Schmerzen nach einer solchen Operation können wohl als etwas Selbstverständliches angesehen werden; es ist also die Euphorie beim schlechten Verlauf der Operation, die hier zu erklären ist. Das völlige Fehlen der inneren Sensationen und der erwarteten Schmerzen ist wahrscheinlich eine Folge davon, daß die operierten Organe absterben, so daß sie unempfindlich werden; dann fühlt man sich leicht und wohl, weil man überhaupt nichts empfindet, wie es ja auch bei völliger Gesundheit meistens der Fall ist. Es liegen also auch hier nur scheinbare Ausnahmen von dem Satze vor, daß eine Schwächung des Organismus die Empfänglichkeit für Unlustgefühle steigert, indem die Sinnesorgane und Nervenbahnen durch die Operation zerstört und damit eine künstliche „Gefühlslosigkeit" zustande gebracht worden sind.

---

[1]) Meumann: Weiteres zur Frage usw. Archiv für Psych. Bd. 14, S. 282

Die bisher erwähnten Zustandsveränderungen des Organismus, Gesundheit-Krankheit, Frischheit-Ermüdung usw., sind so grob, daß das Individuum sich derselben durch lust- oder unlustbetonte Organempfindungen unmittelbar bewußt wird. Aller Wahrscheinlichkeit nach können indes auch weit geringere Veränderungen, *Umstimmungen* des organischen Zustandes, die von gegebenen Reizen erregten Gefühle merklich verändern. Im vorhergehenden ist an verschiedenen Stellen erwähnt, daß die mit den Jahreszeiten schwankende, größere oder geringere Lichtstärke, höhere oder niedrigere Temperatur usw. die Leistungsfähigkeit des Organismus beeinflussen, und ebenso ist durch Messungen der Einfluß relativ kleiner Luftdruckveränderungen außer Zweifel gestellt [1]). Solcher Umstimmungen des organischen Zustandes werden wir uns gewöhnlich nur dadurch bewußt, daß wir uns mehr oder weniger arbeitsfähig, disponiert fühlen, aber schon diese Umstimmungen beeinflussen merklich das Gefühlsleben: zu den Zeiten größerer Leistungsfähigkeit färbt sich das Dasein, alles übrige gleich, zweifellos rosiger als sonst. Ob nun solche Umstimmungen von längerer oder kürzerer Dauer sind, kann von keinem Belang sein; so lange sie gegenwärtig sind, muß sich ihre Wirkung auf die gleichzeitigen Gefühle geltend machen. Hunger-Sättigung und Ermüdung-Frischheit sind ja unter normalen Umständen von relativ geringer Dauer; der Einfluß solcher Zustände auf das Gefühlsleben ist aber deshalb nicht weniger unzweifelhaft. Die Gefühlsbetonung einer gegebenen Empfindung ist also durchaus keine konstante Erscheinung; wir können vielmehr feststellen:

Die von beliebigen Reizen erregten Gefühle sind vom Zustande des gesamten Organismus abhängig, indem die Lustgefühle an Zahl und Stärke abnehmen, die Unlustgefühle entsprechend zunehmen, je mehr der Organismus auf irgendeine Weise geschwächt wird, was sich leicht dadurch erklären läßt, daß der Biotonus der tätigen zentralen Neurone von der Leistungsfähigkeit des Organismus abhängig ist.

Die besprochenen Umstimmungen betreffen den gesamten Organismus, erhöhen seine Leistungsfähigkeit und beeinflussen dadurch die von beliebigen Reizen erregten Gefühle. Früher (S. 384) haben wir indes eine Reihe partieller Umstimmungen kennen gelernt, die zunächst nur die Tätigkeit eines einzelnen

[1]) Lehmann und Pedersen: Das Wetter und unsere Arbeit. S. 152 u. f.

Sinnesorganes betreffen, und daher auch nur auf die von diesem Sinnesorgane herrührenden Gefühle einen Einfluß ausüben. Diese Umstimmungen, die durch konstante Einwirkung oder häufige Wiederholung eines bestimmten Reizes enstehen, kommen nur durch Abstumpfung des betreffenden Gefühls zum Bewußtsein. Je nachdem ein gegebener Reiz nun vor oder nach stattgefundener Abstumpfung eintritt, wird er ganz verschiedene Gefühle erregen können. Beispiele solcher Gefühlsveränderungen sind überaus zahlreich. Steigt die Temperatur z. B. nach einem kalten Frühjahr plötzlich bis 21° C, wird die Wärme unangenehm drückend empfunden. Hat man aber im Sommer längere Zeit hindurch eine viel höhere Temperatur gehabt, an die man sich noch nicht gewöhnt hat, wird das Sinken der Temperatur auf 21° eine angenehme Abkühlung sein. Die ersten frischen Beeren des Sommers begrüßen wir mit Freude, selbst wenn sie noch nicht die volle Reife haben. Hat man aber einen Monat hindurch täglich ausgezeichnete Beeren gegessen, ist der Genuß dermaßen abgestumpft, daß man schließlich weniger gute gar nicht essen mag. Das Unbehagen, wenn man bei schlechtem Wetter hinaus muß, ist gewöhnlich um so größer, je wohler es einem drinnen ist. Kommt man aus einem warmen Zimmer, so werden die Kälte und der Wind weit unangenehmer gefühlt, als wenn man einen kalten und unheimlichen Raum verläßt; im letzteren Falle kann rasche Bewegung im Freien unter den genannten Verhältnissen sogar zur Annehmlichkeit werden. Der Stadtbewohner, der an den Tageslärm gewöhnt ist, schläft sehr gut nachts trotz dem nie aufhörenden Geräusch. Hat er sich aber einige Zeit in einer ruhigen Gegend aufgehalten, wirkt der Straßenlärm bei der Rückkehr als eine sehr unangenehme Störung, die anfangs das Einschlafen recht schwierig macht.

Diese und ähnliche Beispiele, die sich auf den verschiedenen Sinnesgebieten in beliebiger Anzahl finden lassen, haben das gemeinsam, daß *ein gegebener Reiz, je nach den vorhergehenden Verhältnissen, ein anderes Gefühl erregt und zwar so, daß das vom Reize hervorgerufene Gefühl entweder schwächer wird oder in seinen Gegensatz umschlägt, wenn ein stärkeres Gefühl ähnlicher Art vorausgegangen ist.* Wenn der Reiz nach indifferenten Umständen Lust erregt, wird er nach einem starken Lustgefühl ähnlicher Art relativ geringe Lust oder gar Unlust hervorrufen. War der Reiz dagegen von Anfang an unlustbetont, wird er nach einem stärkeren Unlustgefühl ähnlicher Art nur

schwache Unlust oder gar Lust erregen. Die Erklärung dieser Erscheinung kann kaum zweifelhaft sein. Die beobachteten Veränderungen des Gefühls sind eben solche, die als Folge einer Adaptation zu erwarten sind. Hat sich das Ohr an den Tageslärm so adaptiert, daß man ihn kaum hört, wirkt die relative Ruhe nachts fast als völlige Stille und ist daher angenehm. Hat man sich aber an die völlige Stille eines Landaufenthalts gewöhnt, wird der nächtliche Straßenlärm in der Stadt stark und störend empfunden und ist mithin unangenehm. Wie in diesem Falle, so in allen übrigen; die Veränderung des Gefühls beruht stets auf der Umstimmung des betreffenden Organs.

Die hier als Umstimmungen bezeichneten Veränderungen des Gefühls bieten eine gewisse oberflächliche Ähnlichkeit mit den bekannten Erscheinungen des Helligkeitskontrastes dar. Nach der herkömmlichen Auffassung beeinflussen sich zwei Farben gegenseitig so, daß ihr Helligkeitsunterschied größer erscheint. Auch bei Raumgrößen, Linien und Flächen läßt sich unter bestimmten Bedingungen etwas Ähnliches beobachten. Wie leicht ersichtlich, hat die Umstimmung eines Gefühls eben die nämliche Wirkung. Das von einem gegebenen Reiz erregte Gefühl ist relativ schwach, wenn ein stärkeres Gefühl derselben Art vorausgeht, relativ stark dagegen, wenn ein schwächeres Gefühl vorausgeht; der Unterschied erscheint also vergrößert. Alle diese Erscheinungen sind daher mit dem gemeinsamen Namen „Kontrast“ bezeichnet worden, und man hat es als ein besonderes psychologisches Gesetz aufgestellt, daß der Unterschied zwei miteinander verglichener Empfindungen oder Gefühle größer erscheint, als er tatsächlich ist. Es ist aber durchaus unerklärt geblieben, warum es sich in einigen und nicht in allen Fällen so verhält. Die zugrunde liegenden Tatsachen sind unstreitbar; die nähere Untersuchung des „Kontrastes“ hat aber zu dem Ergebnis geführt, daß es sich auf den verschiedenen Gebieten um ganz verschiedene Phänomene handelt. In jedem einzelnen Falle werden die einander ähnlichen Erscheinungen durch besondere Ursachen zustande gebracht; der „Kontrast“ ist also kein einheitliches Phänomen und eben deshalb keineswegs überall nachweisbar. Wirth hat wohl als erster auf die wesentlichen Unterschiede des Helligkeits- und des „Gefühlskontrastes“ aufmerksam gemacht [1]). Es scheint mir aber, daß er das Kind mit dem Bade ausschüttet, indem er die tatsächliche Abhängigkeit des Gefühls von dem vorausgehenden Zustande kaum zugibt.

Die Gefühle gleichzeitiger Reize. Wie wir gesehen haben, ist ein Gefühl nicht nur von dem Reize, sondern auch von dem jeweiligen Zustande des gesamten Organismus und von

---

[1]) Vorstellungs- und Gefühlskontrast. Zeitschr. für Psychol. Bd. 18. 1898. S. 74 u. f.

der „Stimmung“ des betreffenden Sinnesgebietes abhängig. Es leuchtet indes ein, daß die bisher betrachteten Ursachen der Umstimmungen keineswegs die einzig möglichen sind; sie sind wohl die augenfälligsten, deren Wirkung am leichtesten nachweisbar ist, tatsächlich verändert sich aber der gesamte Zustand — vielleicht nur sehr wenig, nichtsdestoweniger ganz unzweifelhaft — mit jedem neuen Reiz. Durch Versuche ist es übrigens direkt nachgewiesen, daß selbst einfache Gefühle einen nicht unerheblichen Einfluß auf die Leistungsfähigkeit des Organismus, z. B. auf die Größe einer gleichzeitig ausgeführten Muskelarbeit, haben können. Wird ein Ergogramm in beliebigem Tempo ausgeführt, geht mit einem Unlust erregenden Reiz immer eine Abnahme der Hubhöhe einher; ein Lust erregender Reiz dagegen hat auf das in schnellem Tempo ausgeführte Ergogramm gewöhnlich keine Wirkung. Wird das Ergogramm aber im langsamen Tempo (etwa 20 Hebungen pro Minute) ausgeführt, tritt mit einem gleichzeitigen angenehmen Geruchsreiz eine zweifellose Vergrößerung der Hubhöhe ein[1]). Auf die Erklärung dieser Erscheinungen können wir hier nicht eingehen (vgl. Kap. 87); nur so viel muß hier hervorgehoben werden, daß die erwähnten Veränderungen der Muskelarbeit nicht auf Variationen der Muskelkraft, sondern auf einer Beeinflussung der motorischen Zentren beruhen. Sicher ist also jedenfalls, daß ein Gefühl auf andere gleichzeitige Leistungen des Gehirns einen Einfluß ausübt. Das von einem bestimmten Reize erregte Gefühl muß also schon dadurch variieren, daß gleichzeitig ein anderes Gefühl gegenwärtig ist. Die Selbstbeobachtung stellt denn auch den gegenseitigen Einfluß von zwei oder mehreren gleichzeitigen Gefühlen außer jedem Zweifel. In vielen Fällen zeigt es sich sogar, daß gleichzeitige Reize überhaupt nicht mehrere Gefühle, sondern nur ein Gefühl erregen, während in anderen Fällen eher von mehreren sich gegenseitig beeinflussenden Gefühlen die Rede sein kann. Betrachten wir, um die Verhältnisse näher zu beleuchten, einige bestimmte Beispiele.

Daß eine isolierte Farbe gewöhnlich mit einem besonderen Gefühlston auftritt, wurde schon oben (S. 370) erörtert. Sind mehrere Farben räumlich nebeneinander geordnet, ist von den

---

[1]) Féré: Sensation et mouvement. 1887. Féré: Influence des excitations. L'année psychologique. Bd. 7, S. 82 u. f. Lehmann: Körperliche Äußerungen psychischer Zustände. Bd. 2, S. 283. Bd. 3, S. 44 und 396.

Gefühlstönen der einzelnen Farben kaum etwas zu bemerken. Die Farbenkombination erregt an und für sich ein bestimmtes Gefühl, ein *Totalgefühl*, in welchem die Gefühlstöne der einzelnen Farben schlechterdings nicht als Elemente, als *Partialgefühle*, nachzuweisen sind; die Kombination kann äußerst häßlich sein, obwohl jede Farbe für sich zweifellos ansprechend ist. In einem solchen Falle kann man also nur um der Hypothese willen behaupten, daß die Gefühlstöne der einzelnen Farben noch bestehen; auf die Selbstbeobachtung kann die Annahme sich nicht stützen.

Sind mehrere Farben nun zu einem komplizierten Muster zusammengestellt, verändert sich die Sache schon etwas. Zwar haben wir von dem polychromen Ornament nur ein bestimmtes Totalgefühl; durch willkürliche Lenkung der Aufmerksamkeit gelingt es doch meistens, z. B. von den Farben zu abstrahieren und ein Bild der räumlichen Formen isoliert festzuhalten. So wird es möglich, daß wir z. B. das Muster hübsch, die Farbenzusammenstellung dagegen häßlich finden können, obwohl das Ornament unmittelbar nur ein bestimmtes Gefühl, eine mehr oder weniger zweifelhafte Lust erregt. Sitzen wir ferner in einem dekorierten Saale als Zuhörer einer Festkantate, ist die ganze „festliche Stimmung“, die aus den zahlreichen verschiedenartigen Gefühlsursachen resultiert, zwar wieder eine Einheit, aber hier gelingt es doch leicht, die verschiedenen Hauptfaktoren relativ unabhängig voneinander zu machen, so daß sie als besondere Partialgefühle hervortreten. Zweifellos hat Rehmke recht, wenn er behauptet, daß die Wirkung der Musik von den Umgebungen, dem festlichen Raume, den feierlich gekleideten Anwesenden usw., nicht unabhängig sei, daß die Dekoration des Saales bei dieser Gelegenheit anders wirke, als wenn man den leeren Raum betrachte, kurz: daß das Totalgefühl der „festlichen Stimmung“ sich in eine Reihe Partialgefühle nicht einfach zerlegen lasse[1]). Dennoch können wir aber hier von speziellen Gefühlen reden, wenn wir nur darüber im klaren sind, daß z. B. das von der Musik erregte Gefühl nicht dasselbe ist, welches entstehen würde, wenn die übrigen Gefühlsursachen ausgeschaltet würden.

Betrachten wir schließlich zwei Gefühle, die dem Anscheine nach schlechterdings nichts miteinander zu tun haben, wie z. B. Reue und Zahnschmerz, so kann man wiederum

[1]) Rehmke: Zur Lehre vom Gemüt. Berlin 1898. S. 25 u. f.

Rehmke so weit beistimmen, daß Reue mit Zahnschmerz ein anderes Gefühl als Reue ohne Zahnschmerz sei. Aber Reue bleibt Reue, sei es mit oder ohne Zahnschmerz. Das tatsächlich gegenwärtige Gefühl ist nicht ein von diesen beiden Eltern erzeugter Bastard, sondern bald das eine, bald das andere der beiden Gefühle, die sich nur insofern gegenseitig beeinflussen, als der von der einen Gefühlsursache gereizte Organismus auf die andere Ursache anders reagiert, als es der Fall sein würde, wenn die erstere nicht einwirkte.

Ein solches selbständiges Hervortreten verschiedenartiger Partialgefühle kommt übrigens, meiner Erfahrung nach, leichter zustande, wenn die beiden Gefühle Gegensätze sind (Lust-Unlust), als wenn sie dieselbe Betonung haben. Aus einer sehr interessierenden Lektüre und Zahnschmerz resultiert eigentlich nie ein Totalgefühl. Entweder ist die Aufmerksamkeit von der Lektüre völlig in Anspruch genommen, und dann existiert der Schmerz kaum, oder aber der letztere beherrscht das Bewußtsein, und dann ist es mit dem Lesen vorbei. Viel weniger scharf treten jedenfalls die Partialgefühle hervor, wenn man z. B. bei der ansprechenden Lektüre gleichzeitig gutes Obst ißt.

Die angeführten Beispiele müssen hier genügen, um zu charakterisieren, was wir erleben, wenn zwei oder mehrere Gefühlsursachen gleichzeitig einwirken. *Der resultierende Gefühlszustand ist zweifellos nie eine einfache Summe der Gefühle, die entstehen würden, wenn jede Gefühlsursache allein vorhanden wäre. Ob der gesamte Gefühlszustand sich aber dennoch in gewisse Partialgefühle zerlegen läßt, oder ob eine solche Zerlegung unmöglich ist, so daß nur ein Totalgefühl besteht, scheint hauptsächlich darauf zu beruhen, wie eng die verschiedenen betonten Empfindungen und Vorstellungen miteinander verbunden sind.* Gehören sie demselben Sinnesgebiete an, und sind sie räumlich oder zeitlich zu einer Einheit verbunden (Farben eines Ornamentes, Töne einer Melodie), so gelingt es nur teilweise, durch willkürliches Lenken der Aufmerksamkeit aus dem Totalgefühle die Partialgefühle hervorzuheben; von einer vollständigen Isolation dieser Einzelgefühle kann kaum die Rede sein. Gehören die Empfindungen verschiedenen Sinnesgebieten an, resultiert wohl auch ein Totalgefühl, das sich aber relativ leicht in Partialgefühle zerlegen läßt; jedes dieser sukzessiv hervorgehobenen Partialgefühle ist aber von der gleichzeitigen Gegenwart der anderen Gefühlsursachen be-

einflußt. Diese relative Isolation der Partialgefühle tritt um so leichter ein, je verschiedenartiger die Bewußseinssphären sind, denen die Partialgefühle angehören, und wahrscheinlich auch leichter, wenn die Partialgefühle selbst Gegensätze sind (Lust-Unlust), als wenn sie gleichartig sind.

Es ist hiernach leicht verständlich, daß die viel umstrittene Frage, ob zwei Einzelgefühle gleichzeitig nebeneinander hervortreten können, sich entscheidend nicht hat beantworten lassen. Die hierüber angestellten Versuche haben jedenfalls kein Resultat ergeben[1]. Wenn nämlich zwei solche, einigermaßen gleich starke Partialgefühle gegeben sind, kann man durch sukzessive Lenkung der Aufmerksamkeit bald das eine, bald das andere hervortreten lassen. Gelingt es, dieses Wechseln der beiden Gefühle recht schnell auszuführen, weiß man schließlich nicht, ob sie gleichzeitig sind, oder ob der Zustand noch oszilliert. Das erstere scheint mir am wahrscheinlichsten (vgl. Kap. 82).

Die nachgewiesene Tatsache, daß die Zerlegbarkeit der Totalgefühle von der mehr oder weniger nahen Verbindung der betreffenden Empfindungen und Vorstellungen abhängig ist, läßt sich leicht nach unserer Gefühlstheorie erklären. Der Theorie zufolge wird der Gefühlston einer Empfindung vom Biotonus der tätigen Neuronengruppe bestimmt. Nun hat aber jedes Neuron seinen besonderen Biotonus, dessen wir uns gar nicht isoliert bewußt werden; nur das Ergebnis des Stoffwechsels sämtlicher tätigen Neurone hat sein psychisches Korrelat: den Gefühlston. Sind mehrere Empfindungen gleichzeitig gegeben, mithin mehrere Neuronengruppen gleichzeitig tätig, muß es von ihrer mehr oder weniger nahen Verbindung abhängig sein, ob der Biotonus jeder Gruppe einen relativ selbständigen Gefühlston erzeugt, oder ob die verschiedenen Gruppen als eine Einheit funktionieren, so daß nur ein dem gesamten Biotonus entsprechender Gefühlston resultiert. Empfindungen desselben Sinnesgebietes, die unmittelbar neben oder nacheinander gegeben sind, treten im Bewußtsein mit einem unzerlegbaren Totalgefühl hervor; in diesem Falle ist das Gefühl also durch den aus der Tätigkeit sämtlicher Neurone resultierenden Biotonus bestimmt. Handelt es sich dagegen um Empfindungen verschiedener Modalität, wo die tätigen Neuronengruppen verschiedenen Sinnessphären angehören, so

---

[1]) Titchener: Feeling and Attention. S. 46 u. f.

bestimmt der Biotonus jeder Gruppe ein besonderes Partialgefühl. Da der Biotonus einer Gruppe jedoch vom Stoffwechsel der anderen Sinnessphären nicht unabhängig sein kann, so können die Partialgefühle mithin auch nicht diejenigen sein, die entstehen würden, wenn jede Empfindung allein gegeben wäre. Sind die gleichzeitig tätigen Neurone schließlich in Zentren verschiedener Ordnung gelegen, entspricht dem relativ selbständigen Biotonus jeder Neuronengruppe ein besonderes Partialgefühl, das sich leicht von den anderen gleichzeitigen Partialgefühlen isolieren läßt. *Die größere oder geringere Leichtigkeit, mit der sich Partialgefühle aus einem Totalgefühl hervorheben lassen, scheint ausschließlich darauf zu beruhen, wie unabhängig die tätigen Neuronengruppen, deren Biotonus die Partialgefühle bestimmt, voneinander sind.*

Das Gemeingefühl. Wie schon oben (Kap. 45) dargestellt, können zahlreiche Vorgänge im Innern des Organismus als Organempfindungen zum Bewußtsein kommen. Meistens werden wir uns dieser Vorgänge nur bewußt, wenn sie eine außergewöhnliche Stärke erreicht haben, und dann treten die betreffenden Organempfindungen als entschieden unlustbetont, als Schmerzen auf. Es gibt jedoch auch viele Empfindungen dieser Art, die keineswegs unangenehm, ja sogar von starker Lust begleitet sind. Selbstverständlich ist das Aufhören eines Schmerzes immer eine angenehme Erleichterung; es kommen aber auch Lustgefühle vor, die nicht nur durch den Wegfall der Unlustgefühle entstehen. Das Aufatmen in der frischen Luft des Waldes, in der kühlen Luft der Gebirgshöhe (vgl. S. 356) ist entschieden lustbetont, ohne daß man deshalb vorher dem Ersticken nahe gewesen zu sein braucht. Die Empfindung, die dadurch entsteht, daß man beim raschen Gehen zu schwitzen anfängt, wird auch meistens angenehm empfunden. Dasselbe gilt vom normalen Abgang der Exkremente, und die Sexualgefühle tragen nicht ohne Grund den Namen Wollustgefühle. Ein kalter Trunk in der Wärme oder ein warmes Getränk in der Kälte sind auch von entschieden angenehmen Empfindungen begleitet, die oft vom Schlunde bis in den Magen hinab gespürt werden können. Ebenso ist das Essen, wenn man hungrig ist, von verschiedenen angenehmen Empfindungen begleitet, die mit der vermehrten Speichelabsonderung beim Anblick der Speise anfangen und mit dem kaum beschreibbaren Gefühl der Sättigung in der Magengegend endigen. Der Hunger und der Durst, wenn sie nur nicht zu stark sind

werden daher im täglichen Leben keineswegs als etwas Unangenehmes angesehen. Hat man beim Spaziergang einen „vorzüglichen Appetit“ erhalten, heißt dies ja nur, daß man einen mäßigen Hunger hat, der bei der Aussicht zur baldigen Befriedigung beinahe eine Annehmlichkeit ist.

Es gibt somit sowohl lust- als unlustbetonte Organempfindungen. Als bestimmte Gefühle treten sie aber gewöhnlich nur dann hervor, wenn die Empfindungen eine gewisse Stärke haben, so daß sie sich aus der großen Menge der Organempfindungen hervorheben. Sonst resultiert aus allen diesen Partialgefühlen nur ein Totalgefühl, das *Gemeingefühl*, das den gemeinsamen Hintergrund der verschiedenen Organempfindungen bildet. Das Gemeingefühl kann selbst sowohl lust- als unlustbetont sein; je den Umständen nach „befindet man sich“ wohl oder übel, und das verschiedene Befinden beeinflußt selbstverständlich die Partialgefühle. Ein allgemeines Unwohlsein ohne besondere Schmerzen ist z. B. meistens von Appetitlosigkeit begleitet; der Reiz, der unter normalen Umständen das Hungergefühl erregt, kann ein solches Partialgefühl nicht hervorrufen, wenn das Gemeingefühl genügend stark unlustbetont ist, trägt aber seinerseits wahrscheinlich dazu bei, das Unwohlsein stärker zu machen. Beim schlechten Befinden werden die sonst stark lustbetonten Organgefühle sich auch schwerlich geltend machen, können aber das Gemeingefühl etwas heben; frische Luft versagt selten ihre Wirkung, usw. Die verschiedenen oben (S. 389) besprochenen Veränderungen des Gesamtorganismus durch äußere Ursachen kommen ebenfalls als Veränderungen des Gemeingefühls zum Bewußtsein; so entsteht das Gefühl der größeren oder geringeren Arbeitsfähigkeit, Aufgelegtheit.

Mit jeder psychischen Tätigkeit gehen, wie oben (Kap. 19) erwähnt, Veränderungen der Blutzirkulation einher, indem sowohl die Frequenz als die Größe der Herzkontraktionen, sowie auch die vasomotorischen Verhältnisse im ganzen Körper beeinflußt werden. Diese Veränderungen sind wohl zumeist so geringfügig, daß sie kaum merkliche Veränderungen des Gemeingefühls herbeiführen, noch weniger sich als besondere Organgefühle geltend machen. Unter gewissen Umständen können sie aber eine bedeutende Stärke erreichen: Herzklopfen, Grauseln, Schaudern und ähnliche Erscheinungen rühren von Zirkulationsstörungen her, die auf verschiedene Weise zustande kommen können. Durch solche Organgefühle

erhalten die als Gemütsbewegungen und Stimmungen bezeichneten Zustände teilweise ihren eigentümlichen Charakter; im folgenden (Kap. 81 und 87) kommen wir hierauf zurück.

Einundfünfzigstes Kapitel.

Die Bedeutung der Gefühle.

Unserer Theorie zufolge sind Lust und Unlust die psychischen Folgen von der Erhaltung, bzw. der Herabsetzung der Leistungsfähigkeit des tätigen Zentralorgans. Solange der Biotonus der arbeitenden Neurone $\frac{A}{D} = 1$ ist, bleibt die Leistungsfähigkeit unverändert, und es resultiert Lust; sobald der Biotonus $\frac{A}{D} < 1$ wird, nimmt die Leistungsfähigkeit fortwährend ab, und es resultiert Unlust. Es handelt sich also hier nur um die Integrität des Zentralorgans; die Theorie bespricht nicht das Verhältnis der Lust und der Unlust zu den Zuständen des übrigen Organismus. Es erhebt sich dann die naheliegende Frage, ob der Biotonus der zentralen Neurone vom Biotonus der gereizten peripheren Organe unabhängig sei, oder ob eine gewisse Korrespondenz zwischen diesen beiden Größen im allgemeinen bestehe.

A priori würde man wohl geneigt sein, anzunehmen, daß die Leistungsfähigkeit des Zentralorgans sich nicht erhalten könnte, wenn das erregte Sinnesorgan durch den Reiz geschädigt würde, und umgekehrt, daß Reizungen, die der Leistungsfähigkeit eines Sinnesorgans angepaßt wären, keine Herabsetzung des zentralen Biotonus herbeiführen würden. Sinnesorgan und Sensorium, Peripherie und Zentrum sind ja nämlich eng verbunden. Die Sinnessphären haben sich zweifellos nur durch die stetige Reizung der Sinnesorgane entwickeln können, und die letzteren haben ihre vollkommene Einrichtung nur dadurch erhalten, daß es zentrale Neurone gab, die auf die verschiedenen Reize reagierten. Es ist daher höchst unwahrscheinlich, daß die Leistungsfähigkeit des Zentralorgans derjenigen der Sinnesorgane nicht entspreche.

Im großen und ganzen finden wir nun tatsächlich eine solche Übereinstimmung. Was Lust erregt, ist gewöhnlich, solange es Lust erregt, dem gereizten Organe wenigstens unschädlich, und was Unlust erregt, ist fast immer, solange es Unlust erregt, dem betreffenden Organe nicht förderlich. Es

gibt zwar, wie wir sofort sehen werden, viele Ausnahmen; in der Hauptsache besteht aber eine solche Verbindung.

Nádejde lehnt diese Auffassung von der Nützlichkeit der Lust und der Schädlichkeit der Unlust energisch ab [1]). Soweit er sich gegen die extreme Spencer'sche Auffassung wendet, wonach das Lusterregende an und für sich nützlich, das Unlusterregende an und für sich schädlich sei, kann man ihm leicht beistimmen. Was dem einen nämlich schädlich ist, kann dem anderen nützlich sein; was einem gegebenen Individuum in dem einen Moment förderlich ist, kann ihm kurz darauf nichts weniger als nützlich sein. Es gibt mithin nichts an und für sich Nützliches oder Schädliches. Aber auch die oben dargestellte Auffassnng will er nicht gelten lassen. Es ist ihm nämlich nichts daran gelegen, festzustellen, in welchem Umfange eine Korrespondenz zwischen Peripherie und Zentrum stattfindet; es handelt sich für ihn nur darum, eine bestimmte psychologische Theorie darzutun. Zu diesem Zwecke werden zahlreiche Tatsachen, die zweifellos auf eine Übereinstimmung zwischen Peripherie und Zentrum in dem oben dargestellten Sinne hinweisen, so ausgelegt, daß sie das Gegenteil beweisen. Wir können auf diese zum Teil sehr künstliche, zum Teil ganz unverständliche Argumentation hier nicht näher eingehen.

Die meisten lusterregenden Sinnesreize sind den betreffenden Sinnesorganen erfahrungsmäßig wenigstens nicht schädlich, beeinträchtigen deren Leistungsfähigkeit nicht; werden die Reize aber so stark, oder dauern sie so lange, daß Unlust entsteht, so gehen fast immer damit Empfindungen einher, die auf eine Überanstrengung der Organe, eine Herabsetzung der Leistungsfähigkeit derselben deuten. Andererseits greifen die meisten solcher Reize, die schon bei geringer Stärke Unlust erregen, die Sinnesorgane an, und alle Schmerzen im Inneren des Organismus betrachten wir — und gewiß nicht mit Unrecht — als Zeichen anormaler, schädlicher Vorgänge. Kann sich das Organ aber an einen unlusterregenden Reiz adaptieren, so daß die Assimilation der Dissimilation gleich und der Biotonus des Organs mithin konstant wird, dann wird fast immer der Biotonus der zentralen Neurone konstant, und die Empfindung ist somit nicht länger von Unlust begleitet. Sehr leicht läßt sich dies bei starken Lichtreizen und anstrengender Muskelarbeit beobachten. Trifft starkes Licht die dunkeladaptierte Netzhaut, ist die Empfindung in den ersten Sekunden, wo die Netzhaut sich an den Reiz adaptiert, unangenehm blendend; sobald die Adaptation stattgefunden hat, hört die Unlust auf. Führt man ein Ergogramm mit maximaler Muskelkontraktion in schnellem Tempo aus, so sinkt anfangs

[1]) Die biologische Theorie der Lust und Unlust. Leipzig 1908.

der Biotonus der arbeitenden Muskeln stark (S. 85), und so lange dies dauert, ist die Arbeit entschieden unangenehm, ja bisweilen sogar schmerzlich. Hat die Hubhöhe aber wegen der Ermüdung so stark abgenommen, daß der Biotonus der Muskeln und damit auch die Größe der sukzessiven Hebungen konstant geworden sind, ist die Arbeit auch ohne bestimmte Gefühlsbetonung.

Ferner gibt es zahlreiche Reize, die auf verschiedene Organe einwirken und je dem gereizten Organe nach verschiedene Gefühle erregen können. Man findet dann fast immer, daß derselbe Reiz, wenn er Lust erregt, dem betreffenden Organe unschädlich ist, wo er Unlust erregt, dagegen unheilsame Wirkungen hat. Dies gilt z. B. von vielen Giftstoffen, die einen recht angenehmen Geschmack haben können, in den Magen hineingebracht dagegen gefährliche Vergiftungen verursachen. Bleizucker schmeckt süß, und so lange er nur auf die Zunge wirkt, ist er recht unschädlich; wenn man daher die Lösung nicht trinkt und den Mund ausspült, wird nichts geschehen. Wirkt das Gift dagegen auf die Schleimhäute des Magens und der Gedärme ein, verursacht es Kolikschmerzen und recht gefährliche Durchfälle. Umgekehrt haben viele Arzneien einen unangenehmen Geschmack, von welchem ihre heilsamen Wirkungen durchaus unabhängig sind, was am besten aus der Tatsache hervorgeht, daß man den Geschmack eliminieren kann, ohne der beabsichtigten Wirkungen verlustig zu gehen. Es ist weder gesund noch angenehm, lange zu dursten; seinen Durst zu stillen, ist daher im allgemeinen sowohl nützlich als angenehm. Verdirbt man sich aber dabei den Magen, indem man zu viel kaltes Wasser trinkt, so kommen andere, unangenehme Wirkungen hervor, die mit dem Stillen des Durstes nichts zu tun haben, indem man sie leicht hätte vermeiden können. In diesen und vielen analogen Fällen findet man durchweg, mit den später zu erwähnenden Ausnahmen, daß die nützlichen Wirkungen eines Reizes Lust hervorrufen, während die schädlichen Wirkungen desselben Reizes Unlust erregen. Sieht man dagegen nur auf die erste Empfindung und die schließliche Wirkung, indem man das Zwischenliegende unberücksichtigt läßt[1]), so beweisen die wohlschmeckenden Gifte und die übelschmeckenden Arzneien gewiß, daß das Schädliche Lust, das Nützliche Unlust erregen

[1]) Wundt: Physiol. Psychol. 5. Aufl. Bd. 2, S. 355. Nádejde, a. a. O. S. 43.

kann. Konsequent muß man dann auch behaupten, daß der erfreuliche Anblick einer im Ofen flackernden Flamme sehr schädlich sei, weil man die Hand schwer verbrennen kann, wenn man sie ins Feuer steckt. Die Brandwunde der Hand hat mit dem Anblick der Flamme genau so viel zu tun, wie der Darmkatarrh mit dem Stillen des Durstes. Solche absurden Konsequenzen zeigen wohl am besten, wie unberechtigt es ist, die Zwischenglieder zu überschlagen.

Obwohl es sich nun meistens so verhält, daß Lust mit der Erhaltung, Unlust mit der Herabsetzung der Leistungsfähigkeit des tätigen peripherischen Organs einhergehen, gibt es dennoch nicht wenige Ausnahmen. Einerseits können unlusterregende Reize recht unschädlich sein. Chinin und viele andere Bitterstoffe werden höchst unangenehm empfunden, ohne daß sich eine schädliche Beeinflussung der betreffenden Organe nachweisen läßt; dasselbe gilt von verschiedenen ekelhaften Gerüchen usw. Auf dem Gebiete der Farben und der Töne tritt der Widerspruch noch deutlicher hervor. Es gibt Farben, die viele Menschen als häßlich bezeichnen, die aber keineswegs dem Auge schädlich sind. Zwei Farben, die isoliert betrachtet ansprechend sind, können nebeneinander gestellt eine höchst unangenehme Kombination bilden; es ist jedoch recht unwahrscheinlich, daß das Auge dadurch geschädigt wird. Analoges gilt von dissonanten Tonverbindungen. Andererseits gibt es besonders organische Zustände, die durch Gifte wie Alkohol, Opium, Haschisch, Morphin, Cocain usw. hervorgerufen und als sehr angenehm angesehen werden, obwohl sie dem Organismus nichts weniger als förderlich sind. Die angeführten Beispiele genügen, um zu zeigen, daß die Korrespondenz zwischen Peripherie und Zentrum zwar die Regel, aber durchaus keine Regel ohne Ausnahme ist. Wir können daher feststellen:

Wenn ein Reiz Lust erregt und der Biotonus der zentralen tätigen Neurone sich mithin konstant erhält, wird die Leistungsfähigkeit des gereizten peripheren Organs sich auch zumeist konstant erhalten, während ein unlusterregender Reiz, der den zentralen Biotonus herabsetzt, meistens auch die Leistungsfähigkeit des peripheren Organs beeinträchtigt. Diese Übereinstimmung zwischen Peripherie und Zentrum erleidet zwar zahlreiche Ausnahmen, im großen und ganzen ist aber das Gefühl das psychische Merkmal der Beziehung eines gegebenen Reizes zum jeweiligen Wohl und Wehe des Organismus.

Drittes Buch.

Die Psychodynamik.

Zweiundfünfzigstes Kapitel.

Psychodynamische Vorgänge und psychische Tätigkeiten.

Die im folgenden zu behandelnden Tatsachen sind schon hier und dort im vorhergehenden erwähnt. Die Beobachtung des allgemeinen Verlaufs des seelischen Geschehens führte uns zu der Erkenntnis, daß das Ich dem Anschein nach die durch äußere Reize hervorgerufenen psychischen Zustände aktiv verändern kann (S. 15). Entweder kann ein zusammengesetzter Zustand, der dem Bewußtsein als Einheit gegeben ist, analysiert, d. h. in Teile zerlegt werden, oder es kann eine Mehrheit von Zuständen, die anfangs nichts miteinander zu tun haben, zu einer Einheit verbunden, verknüpft werden. Diese beiden Tätigkeiten können vom Ich willkürlich ausgeübt werden, wobei es sich der Aufmerksamkeit bedient, die in verschiedene Richtungen gelenkt wird — so ungefähr können wir nach dem Sprachgebrauch der Vulgärpsychologie die Vorgänge beschreiben.

An einem anderen Orte (S. 360) wurde hervorgehoben, daß die Dimension der Klarheit der Empfindungen ebenfalls eine Wirkung der Aufmerksamkeit ist. Durch die Lenkung der Aufmerksamkeit auf eine bestimmte Empfindung werden wir uns derselben, ohne Rücksicht auf ihre Stärke, klarer und lebhafter bewußt. Diese größere Klarheit eines Zustandes, die durch das Aufmerken erzielt wird, ist indes nur ein partieller Erfolg der analysierenden Tätigkeit, die Wirkung derselben auf den einzelnen Zustand, und hieraus resultiert einfach die Unterscheidung zwischen den verschiedenen Zuständen. Sobald die Aufmerksamkeit nämlich auf irgendeine Partialerscheinung eines Komplexes gelenkt wird, tritt diese klarer hervor, erhält einen höheren „Bewußtseinsgrad“, während die übrigen Komponenten dunkler, wie in den Hintergrund des Bewußtseins zurückgedrängt werden. Die einfache Folge

hiervon wird, daß die Unterschiede der gegebenen Erscheinungen leichter bemerkt werden, vergrößert erscheinen. Die Klarheitsveränderungen der einzelnen Zustände sind also die Ursache der Unterscheidung, und diese beiden Veränderungen eines gegebenen Bewußtseinsinhaltes sind die untrennbaren Erfolge der analysierenden Tätigkeit.

Es handelt sich daher im folgenden nur um die beiden Tätigkeiten, die Unterscheidung und die Verknüpfung, die das Ich durch Lenkung der Aufmerksamkeit auszuüben imstande ist. Unsere Aufgabe wird, die Gesetze dieser Tätigkeiten nachzuweisen und die Vorgänge zu erklären. Beim ersten Blick scheint dieser letztere Teil: eine physiologische Erklärung scheinbar spontaner Tätigkeiten des Ich zu geben, nur zu leeren Spekulationen führen zu können. Wir haben aber schon vorher gewisse Tatsachen kennen gelernt, die jedenfalls einiges Licht auf die psychischen Tätigkeiten werfen.

Erstens haben wir gesehen (S. 151), wie die Erregung einer Neuronengruppe hemmend auf die gleichzeitige Erregung einer anderen einwirkt, wenn die beiden Gruppen eine gemeinsame Strecke haben. Ob die Erregung durch einen äußeren Reiz oder durch eine von einer sekundären Sphäre sich fortpflanzende Erregung, oder durch alle beide Ursachen gleichzeitig hervorgerufen wird, ist für die Hemmungswirkung belanglos. Setzen wir also den Fall, daß die Erregung einer Sinnessphäre von einem Zentrum zweiter Ordnung aus verstärkt werden könnte, so würde damit die Hemmung anderer gleichzeitigen Erregungen auch stärker werden. Augenscheinlich würde dadurch die eine Empfindung auf Kosten der anderen hervorgehoben werden, und diese Wirkung würde jedenfalls derjenigen der Aufmerksamkeit analog sein. Ein Unterschied würde zwar in der Beziehung bestehen, daß die Hebung der Empfindung durch eine größere Intensität derselben erreicht wäre, während ihre eigentümliche Klarheit, die eben etwas ganz anderes als ihre Stärke ist, dadurch unerklärt bliebe. Lassen wir aber diesen Unterschied bis auf weiteres dahingestellt, so ist es jedenfalls verständlich, wie die Verstärkung einer Erregung durch innere Ursachen auch eine stärkere Hemmung anderer gleichzeitigen Erregungen herbeiführen kann. Durch sukzessive Verstärkung der einzelnen Komponenten eines komplizierten Vorgangs treten dann auch die Unterschiede der entsprechenden psychischen Zustände stärker hervor, was wir ebenfalls als den Erfolg der in be-

sonderen Richtungen gelenkten Aufmerksamkeit gefunden haben.

Zweitens sahen wir oben, wie eine Erregung, die andere gleichzeitige Erregungen hemmt, sie zugleich anbahnt, so daß die letzteren beim Aufhören der hemmenden mit relativ größerer Stärke einsetzen können. Die Wiederholung sukzessiver Erregungen wird daher, wie jede Wiederholung physiologischer Vorgänge, die Wirkung haben, daß die aufeinander folgenden Erregungen immer leichter zustande kommen, so daß schließlich die erste der sukzessiven Erregungen ausreicht, um die folgenden auszulösen. Auf diese Weise kann also eine Reihe von Vorgängen, die ursprünglich in gar keiner Beziehung zueinander stehen, nach und nach zu einer Einheit verbunden werden. Nehmen wir nun wie oben an, daß eine solche Reihe sukzessiver Vorgänge ebenfalls durch innere Ursachen verstärkt werden kann, so daß ihre gegenseitige Verknüpfung dadurch schneller erzielt wird, hat auch die verknüpfende Tätigkeit der Aufmerksamkeit ihre physiologische Erklärung gefunden.

Bei alledem ist indes die Aufmerksamkeit selber spurlos verschwunden.

Wir sind nämlich davon ausgegangen, daß gleichzeitige Erregungen einer Sinnessphäre sich hemmen und die folgenden anbahnen können. Die „inneren Ursachen", denen wir analoge Wirkungen auf andere Erregungen zugeschrieben haben, brauchen also durchaus keine mystischen Prozesse zu sein; Vorstellungen und Gefühle, die mehr oder weniger komplizierten Vorgängen der sekundären Sphären entsprechen, können die nämliche Wirkung ausüben, wenn sie nur die notwendige Bedingung der gemeinsamen Strecke erfüllen. Die Annahme eines besonderen Aufmerksamkeitsprozesses wird somit ganz überflüssig; vom physiologischen Gesichtspunkte aus können wir mit einer solchen Hypothese gar nichts anfangen. Was dieser hypothetische Vorgang leisten sollte, kann ebensowohl von bestimmten gefühlsbetonten Vorstellungen geleistet werden.

Tatsächlich steht nun die physiologische Theorie auf diesem Punkte in völliger Übereinstimmung mit dem Ergebnis der Selbstbeobachtung. Wenn man aufmerkt, kann man nämlich im Bewußtsein nur die Motive der Aufmerksamkeit und den Erfolg finden, dagegen nie einen besonderen Vorgang, der das Resultat herbeiführt. Ich bin z. B. mit einer experimentellen Untersuchung beschäftigt; ich wünsche zu sehen, was unter

gewissen Umständen eintreten wird. Dieser Wunsch veranlaßt mich, meine Aufmerksamkeit auf einen ganz bestimmten Punkt eines Apparates zu konzentrieren, und in demselben Momente treten sämtliche übrige Empfindungen, die kurz vorher noch recht klar waren, im Bewußtsein zurück; die übrigen Teile des Apparates sehe ich kaum, das Ticken einer Uhr höre ich nicht, usw. Die Motive der Lenkung der Aufmerksamkeit in eine ganz bestimmte Richtung sind hier unzweifelhaft, die Wirkungen dieser Aufmerksamkeitskonzentration sind augenfällig — von der Aufmerksamkeit selbst zeigt sich keine Spur.

Zuweilen kann jedoch die Aufmerksamkeitskonzentration mit einer gewissen Anstrengung verbunden sein. Wenn man z. B. im Eisenbahnabteil lesend fortwährend von einem nicht uninteressanten Gespräch der Mitreisenden gestört wird, so ist das Lenken der Aufmerksamkeit auf das Lesen mit einem deutlichen Tätigkeits- oder Anstrengungsgefühl verbunden. Dieses Gefühl kann indes nicht die Aufmerksamkeit sein, denn die Anstrengung ist eben am größten, wenn die Aufmerksamkeit in der gewünschten Richtung am kleinsten ist, und wenn man sich in die Arbeit vollständig vertieft, verschwindet das Gefühl gänzlich. Da es kaum anzunehmen ist, daß ein Bewußtseinsvorgang um so hervortretender sei, je schwächer er wird, so kann die Anstrengung nur von der Überwindung der Widerstände herrühren, die sich der Aufmerksamkeitskonzentration entgegenstellen. Dann hört natürlich das Gefühl der Anstrengung auf, wenn die Widerstände wegfallen (vgl. Kap. 63). Die Selbstbeobachtung zeigt uns somit keine Spur der Aufmerksamkeit selber, was in theoretischer Beziehung den Psychologen große Schwierigkeit bereitet hat. Ein zentraler Vorgang, der im Bewußtseinsleben eine entscheidende Bedeutung hat und sich dennoch nie als etwas Psychisches feststellen läßt, ist einfach ein psychologisches Unding, das sich in einer Psychologie nirgends unterbringen läßt.

Das Rätsel löst sich, sobald wir bedenken, daß „die Aufmerksamkeit“, ebenso wie viele andere Namen, der Vulgärpsychologie als einfache Bezeichnungen zweifelloser Tatsachen entlehnt sind, daß diese Namen aber ursprünglich eine Bedeutung haben, die ihnen die Wissenschaft nicht beilegen kann. In der volkstümlichen Psychologie bezeichnen Gedächtnis, Phantasie, Verstand, Aufmerksamkeit, Wille und viele andere Worte nicht einfach Gruppen von Erscheinungen; sie sind als Seelenvermögen hypostatiert, die je auf ihre be-

sondere Weise tätig sind: das Gedächtnis hebt die Vorstellungen auf, die Phantasie kombiniert sie, der Verstand denkt, die Aufmerksamkeit lenkt sich, der Wille führt willkürliche Handlungen aus usw. Mit dem Hinweis einer Erscheinung auf irgendein bestimmtes dieser Vermögen ist nach der Auffassung der Vulgärpsychologie auch die Erklärung derselben gegeben: sie ist als Leistung des betreffenden Seelenvermögens aufzufassen.

Die Vulgärpsychologie steht hier genau auf dem Standpunkte des Indianers, der sich in der Lokomotive eine Anzahl Pferde versteckt denkt. Die Seelenvermögen sind eben homunculi, kleine willkürlich handelnde Seelen, die in „die Seele“ eingeschachtelt sind. Diese Auffassung kann im Alltagsleben recht bequem sein, aber wenn die Wissenschaft sie ernst nehmen will und die arbeitenden versteckten Pferde nachzuweisen sucht, so kommt sie in Verlegenheit. Ein Gedächtnis als Aufbewahrer der Vorstellungen, eine sich lenkende Aufmerksamkeit usw. gibt es nicht. Als bildliche Ausdrücke können diese Redensarten sehr wohl angewendet werden, nur dürfen wir nicht vergessen, daß sie eben bildliche Ausdrücke sind. Die Selbstbeobachtung zeigt uns gewisse psychische Tätigkeiten, die sich durch Zerlegung von Komplexen und Verknüpfung isolierter Erscheinungen bekunden. Diese Tätigkeiten werden uns erst dann verständlich, wenn wir sie auf bestimmte psychodynamische Vorgänge, Nervenprozesse besonderer Art, zurückgeführt haben, und dem oben Angeführten zufolge kann es nicht zweifelhaft sein, um welche Vorgänge es sich hier handelt. Die Hemmungen und Bahnungen gleichzeitiger Erregungen, die die Nervenphysiologie mittels der Reflexbewegungen untersucht hat, sind so allgemeiner Art, daß sie überall im Zentralorgan vorkommen müssen. Da sie außerdem, wie eben nachgewiesen, die Wirkungen der psychischen Tätigkeiten herbeiführen können, so steht aller Wahrscheinlichkeit nach zu erwarten, daß diese psychischen Tätigkeiten eben solche komplizierten psychodynamischen Vorgänge sind. Wenn sie uns aber nicht schlechthin als gegenseitige Beeinflussung gegebener Zustände, sondern als Tätigkeiten, willkürliche Äußerungen des Ich, erscheinen, kann es nur daran liegen, daß die sich hemmenden und bahnenden Vorgänge nur zum Teil durch äußere Reize erregt sind, während die entscheidende Wirkung stets von Erregungen herbeigeführt wird, die aus inneren Ursachen hervorgehen.

Der Gang der folgenden Darstellungen ist hiermit gegeben. Wir werden erst die psychodynamischen Vorgänge, die zentralen Hemmungen und Bahnungen, unter den möglichst einfachen Umständen untersuchen, wenn sie unabhängig von inneren Ursachen nur zwischen Erregungen stattfinden, die durch äußere Reize hervorgerufen sind. In solchen Fällen können, wie wir sehen werden, zwar erhebliche Veränderungen der simultanen oder sukzessiven Zustände eintreten, von einer psychischen „Tätigkeit" ist aber dabei gar keine Rede; die Zustände beeinflussen sich gegenseitig, ohne daß das Ich sich im geringsten daran beteiligt fühlt. Ein Gefühl der Tätigkeit tritt dagegen mehr oder weniger hervor, sobald Erregungen aus inneren Ursachen mitwirken. Wir können daher solche Erscheinungen als psychische Tätigkeiten den einfachen psychodynamischen Vorgängen gegenüberstellen, obwohl es sich in den beiden Fällen in der Hauptsache um dieselben Vorgänge handelt; der psychische Unterschied ist aber so wesentlich, daß seine besondere Hervorhebung zweckmäßig sein wird. Bei der Darstellung der psychischen Tätigkeiten behandeln wir dann zuvörderst die allgemeinen Bedingungen und Wirkungen der „Aufmerksamkeit", um den Nachweis zu führen, daß diese Aufmerksamkeitsleistungen einfache Folgen der psychodynamischen Prozesse unter speziellen Bedingungen sind. Danach werden die komplizierteren Wirkungen der Aufmerksamkeitskonzentration, die Analyse und Synthese sowie ihre Kombinationen. ohne besondere Schwierigkeiten verständlich. Schließlich gehen wir auf die körperlichen Begleiterscheinungen, besonders die Stoffwechselverhältnisse der psychischen Zustände und Tätigkeiten etwas näher ein, um die zugrunde gelegte energetische Auffassung der psychischen Erscheinungen zu beleuchten.

A. Psychodynamische Vorgänge.

I. Hemmungen und Bahnungen in der Netzhaut.

Dreiundfünfzigstes Kapitel.

Helligkeits- und Farbenkontrast.

Das kleine periphere Zentrum, die Netzhaut, eignet sich ganz besonders zu Untersuchungen über Hemmung und Bahnung verschiedener Erregungen. Die flächenförmige, relativ einfache

Anordnung der Neurone, sowie der Umstand, daß sowohl die Reizstärke als der Reizungsort gleichzeitiger Lichtreize sich nach Belieben variieren lassen, ermöglichen die experimentelle Untersuchung der Erscheinungen unter solchen einfachen Bedingungen, die einer mathematischen Behandlung zugänglich sind. Um die psychodynamischen Vorgänge in einem besonders übersichtlichem Falle vollständig zu beleuchten, gehen wir daher auf die in der Netzhaut vorkommenden Hemmungen und Bahnungen etwas näher ein.

In der Netzhaut ist die anatomische Anordnung der Neurone zwar nicht so, wie wir sie früher angenommen haben, um die Hemmungserscheinungen zu erklären, und wie sie in Fig. 27 schematisch dargestellt ist. Wenn die Erregung sich zu immer zahlreicheren Neuronen fortpflanzte, würde ihre scharfe Lokalisation aufgehoben werden. In der Netzhaut ist jedes Neuron daher nur mit einem oder wenigen anderen, die die Erregung fortpflanzen, verbunden (Fig. 30, S. 188). Dennoch gibt es gemeinsame Strecken, indem innerhalb der zweiten Neuronenschicht (Fig. 30, *5—7*) Nervenzellen vorkommen, die keine zentripetalen Nervenfasern besitzen und nur Querleitungen zwischen den Neuronen der zweiten Schicht bilden. Diese Zellen, die gleichzeitig von benachbarten Neuronen erregt werden können, bilden also tatsächlich gemeinsame Strecken, und aller Wahrscheinlichkeit nach spielen sich hier die Hemmungserscheinungen ab, die als „simultaner Lichtkontrast“ bezeichnet werden.

Bei den im folgenden darzustellenden Untersuchungen, wo es auf eine Vergleichung gleichzeitiger Empfindungen ankommt, läßt sich die Aufmerksamkeit eigentlich nicht ausschließen. Die zu untersuchende gegenseitige Beeinflussung der gleichzeitigen Empfindungen beruht aber nicht auf der verschiedenen Richtung der Aufmerksamkeit; sie tritt im Gegenteil um so deutlicher und gesetzmäßiger hervor, je gleichmäßiger die Aufmerksamkeit auf sämtliche Empfindungen gelenkt wird. Indem eine solche möglichst gleichmäßige Verteilung der Aufmerksamkeit vorausgesetzt wird, können die zu behandelnden Erscheinungen als von der Aufmerksamkeit unabhängig angesehen werden.

Der simultane Lichtkontrast äußert sich auf die Weise, daß die Stärke eines gegebenen Reizes kleiner erscheint, wenn gleichzeitig ein anderer, naheliegender Teil der Netzhaut gereizt wird, als wenn der erstere Reiz allein einwirkt. Dem

Anscheine nach handelt es sich also hier um eine Hemmung zwischen den gleichzeitigen Reizen. Es läßt sich denn auch leicht nachweisen, daß es sich tatsächlich so verhält; die Gesetze des Lichtkontrastes können einfach aus dem allgemeinen Hemmungsgesetze abgeleitet werden. Um keine unnötige Komplikation der Verhältnisse einzuführen, setzen wir in der folgenden Darstellung voraus: 1. daß die Netzhaut vor jeder Reizung dunkeladaptiert ist, 2. daß das Auge während der Reizung fixiert ist, 3. daß das ganze übrige Gesichtsfeld lichtlos ist, und 4. daß die Reizung etwa 5 Sek. dauert. Sämtliche Bedingungen können bei Versuchen unschwer innegehalten werden, und wir erreichen durch die drei ersten, daß die Resultate weder durch fremdes Licht noch durch Nachwirkungen vorhergehender Reize gestört werden, und durch die vierte Bedingung, daß die Netzhaut sich jedesmal an den gegebenen Reiz adaptiert, so daß eine möglichst konstante Erregung erreicht wird [1]).

Als „Hemmungsgebiet“ einer Erregung bezeichnen wir denjenigen Teil der Netzhaut, wo die Erregung wegen der Querleitungen hemmend wirken kann. Es ist anzunehmen, daß die Hemmung innerhalb dieses Gebietes vom Zentrum gegen die Peripherie abnimmt. Wo zwei solche Hemmungsgebiete sich schneiden, entsteht eine gemeinsame Strecke der Erregungen. Denken wir uns nun einen Teil der Netzhaut durch Licht mäßiger Intensität beleuchtet und diesen Teil winzig klein im Verhältnis zur Ausdehnung des Hemmungsgebietes, so wird der Bruchteil $\frac{1}{p}$, der von der

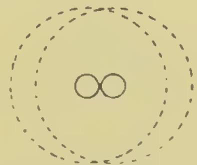


Fig. 59.

---

[1]) Der Lichtkontrast kann natürlich auch stattfinden, ohne daß die angeführten Bedingungen erfüllt zu sein brauchen; wegen der komplizierteren Verhältnisse werden die Ergebnisse aber dann weniger leicht berechenbar. Daß der Kontrast indes auch in solchen Fällen auf dieselbe Weise entsteht und den nämlichen Gesetzen unterliegt, habe ich früher dargetan (Psychodynamik, S. 235 u. f.). Die späteren Kontrastbestimmungen von Heymans (Zeitschrift für Psychol., Bd. 41, Abt. I, S. 89 u. f.) befolgen zwar ganz andere Gesetze, es spielen aber dabei Pupillenveränderungen u. ä. eine größere Rolle als die Kontrasthemmungen, worauf hier nicht näher eingegangen werden kann. Der Nachweis ist von E. Rubin geführt in einer noch nicht erschienenen Arbeit „Über die Abhängigkeit des Kontrastes vom Verhältnis zwischen der räumlichen Ausdehnung des Feldes und der des Hintergrundes.“ Dieser Arbeit habe ich die im folgenden angeführten, diesbezüglichen Tatsachen entlehnt.

ganzen disponiblen Energie innerhalb des Hemmungsgebietes verbraucht wird, nur äußerst klein. Zwei solche neben einander liegende, gleichgroße und gleich stark beleuchtete Felder, deren Hemmungsgebiete sich fast vollständig decken (Fig. 59), hemmen sich also gegenseitig, und der Energieverbrauch jeder Erregung sinkt auf $\frac{1}{P}$ herab, durch die Gleichung:

$$\frac{1}{P} = \frac{1}{p} \cdot \frac{1}{1 + (n-1)\frac{1}{p}} \quad \ldots\ldots\ldots \text{(Gl. 26)}$$

bestimmt (S. 157). Setzen wir hier $n = 2$, erhalten wir:

$$\frac{1}{P} = \frac{1}{p} \cdot \frac{1}{1 + \frac{1}{p}}.$$

Wenn aber, wie angenommen, $\frac{1}{p}$ sehr klein ist, so wird $1 + \frac{1}{p}$ nur wenig von 1 verschieden, und mithin $\frac{1}{P} = \frac{1}{p}$. Erst wenn n so groß geworden ist, daß $(n-1)\frac{1}{p}$ im Verhältnis zu 1 nicht verschwindend klein ist, wird $\frac{1}{P}$ merklich kleiner als $\frac{1}{p}$. Denken wir uns nun diese n Flächendifferentiale so neben einander liegend, daß eine n mal größere, kontinuierlich beleuchtete Fläche entsteht, können wir also feststellen:

Sehr kleine beleuchtete Felder, deren Ausdehnung im Verhältnis zu der des Hemmungsgebietes gering ist, üben keine merkliche Hemmung auf einander aus. Eine meßbare Herabsetzung der Intensität eines beleuchteten Feldes durch gegenseitige Hemmung der Flächendifferentiale tritt erst bei einer gewissen Größe des Feldes ein.

Die Gültigkeit dieses Satzes läßt sich leicht nachweisen, wenn man kleine, gleich hell beleuchtete Felder verschiedener Größe mit einem großen Feld von etwa 12° Gesichtswinkel vergleicht und die Helligkeit des letzteren so einstellt, daß diese Helligkeit V der Helligkeit F der kleinen Felder gleich erscheint. Die Ergebnisse solcher Messungen sind in Tab. 27 wiedergegeben. In der ersten Kolonne ist der Gesichtswinkel der kleinen Felder angeführt, und für jede der drei Vp. sind die gefundenen Werte $\frac{V}{F}$ angegeben. Da die individuellen

Abweichungen nicht größer sind als die Schwankungen der Werte jeder Vp., ist es zulässig die Werte der verschiedenen Vp. zu Mittelwerten zu vereinigen, die in der letzten Kolonne angegeben sind. Von den in der Tabelle ebenfalls angeführten Größen $\frac{V}{F_0}$ wird weiter unten die Rede sein.

Bei diesen sowie den folgenden Kontrastmessungen war, wo nichts anderes angegeben ist, die konstante Helligkeit der Felder 4096. Die Messungen sind mit einem modifizierten Hess-Pretori'schen Apparate ausgeführt, und die oben erwähnten vier Bedingungen sind streng innegehalten. Das kleine Feld lag konstant in einer Entfernung von 1° 42′ vom großen quadratischen Vergleichsfeld; der Rand des letzteren wurde fixiert, und das kleine zirkuläre Feld mit einem eben so großen Teil im Innern des Vergleichsfeldes verglichen. Da solche Messungen recht schwierig sind, wurden von jeder Vp. bei jedem Gesichtswinkel so viele Einzelbeobachtungen (32—48) angestellt, daß sich vollständige Fehlerkurven zeichnen ließen, woraus dann die oben angeführten wahrscheinlichen Werte berechnet wurden.

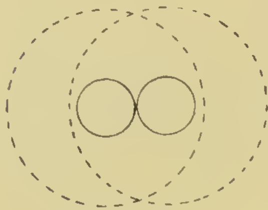
Tabelle 27.

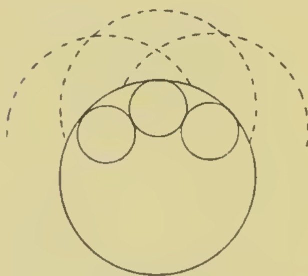
Gesichtswinkel	*E. R.*		*A. N.*		*A. L.*		Mittel	
	$\frac{V}{F}$	$\frac{V}{F_0}$	$\frac{V}{F}$	$\frac{V}{F_0}$	$\frac{V}{F}$	$\frac{V}{F_0}$	$\frac{V}{F}$	$\frac{V}{F_0}$
26′	1,38	1,506			1,49	1,650	1,435	1,575
38′	1,36	1,484			1,54	1,713	1,450	1,596
51′	1,39	1,521	1,50	1,663	1,49	1,650	1,460	1,612
1° 16′	1,48	1,630			1,36	1,484	1,420	1,558
1° 42′	1,46	1,612	1,47	1,624	1,50	1,663	1,476	1,630
2° 33′			1,29				1,290	1,395
3° 24′	1,19		1,095		1,16		1,148	1,225
4° 15′	1,16		1,06				1,110	1,118

Aus der Tab. 27 ist ersichtlich, daß $\frac{V}{F} > 1$ ist, d. h. das große Feld erscheint immer dunkler als die kleinen, wenn die objektiven Intensitäten gleich groß sind; damit die Felder gleich hell erscheinen, muß also *V* größer als *F* gemacht werden. Bis zu einem Gesichtswinkel von 1° 42′ ist die Helligkeit der kleinen Felder von dem Gesichtswinkel unabhängig, $\frac{V}{F}$ konstant; wächst der Gesichtswinkel aber über diese Grenze hinaus, nimmt die Helligkeit des Feldes ab. Diese Tatsachen stimmen also vollständig mit dem oben angeführten Satze überein; eine meßbare Hemmung innerhalb eines beleuchteten Feldes mittlerer Helligkeit tritt erst dann

ein, wenn das Feld größer als 1° 42′ wird. Da Felder dieser Winkelgröße noch keinem nachweisbaren inneren Kontrast unterworfen sind, können wir sie als Flächenelemente betrachten, und wir untersuchen im folgenden, wie solche Elemente sich gegenseitig beeinflussen.

Wir sahen oben, daß die innere Hemmung eines Feldes merklich zu werden anfängt, wenn n so groß wird, daß $(n - 1)\frac{1}{p}$ nicht vernachlässigt werden kann, oder mit andern Worten, wenn der Energieverbrauch im Verhältnis zur freien Energie nicht verschwindend klein ist. Bei dem erwähnten Flächenelement von etwa 2° Winkelgröße, wo die innere Hemmung eben merklich zu werden anfängt, kann daher die Ausdehnung des Feldes im Verhältnis zu der des Hemmungsgebietes nicht verschwindend klein sein. Hieraus folgt dann ferner, daß zwei solche Elemente sich keineswegs vollständig hemmen können, weil ihre Hemmungsgebiete sich nur teilweise decken (vgl. Fig. 60, wo die punktierten Zirkel die Hemmungsgebiete der beiden Felder darstellen). Innerhalb der gemeinsamen Strecke hemmen sie sich gegenseitig, außerhalb derselben verlaufen die Vorgänge aber ohne Hemmung. Vollständig gehemmt wird ein Flächenelement augenscheinlich erst dann, wenn sein Hemmungsgebiet mit andern beleuchteten Elementen ausgefüllt ist, d. h. wenn die beleuchtete Fläche die Größe des Hemmungsgebietes eines Flächenelements erreicht hat. Dann wird die ganze freie Energie dieses Hemmungsgebietes verbraucht, und jedes Element kann mithin nur über den möglichst kleinen Teil der Energie verfügen. Die peripheren Elemente einer solchen Fläche werden aber nicht vollständig gehemmt, weil ihre Hemmungsgebiete teilweise außerhalb der beleuchteten Fläche fallen, wie aus Fig. 61 zu ersehen ist, wo die punktierten Zirkel die Hemmungsgebiete der Randelemente darstellen. Es entsteht also hier ein Unterschied zwischen dem stärker gehemmten, mithin dunkleren Zentrum und der helleren Peripherie. Dieser Unterschied, der sich leicht beobachten läßt, wenn man z. B. ein weißes Papier auf schwarzem Hintergrunde betrachtet, wird der *Randkontrast* genannt. Wird die beleuchtete Fläche


Fig. 60.


Fig. 61.

noch größer, verändert sich die Stärke der inneren Hemmung dadurch nicht, weil die Hemmung schon vollständig war; nur werden jetzt mehr Flächenelemente vollständig gehemmt, und der dunklere Zentralteil wird mithin größer.

Daß es sich tatsächlich so verhält, daß die Stärke der Hemmung unabhängig von der Größe der beleuchteten Fläche wird, sobald das Feld die der vollständigen Hemmung entsprechende Größe erreicht hat, geht aus Tab. 27 hervor. Das Feld von $4^0\,15'$ Ausdehnung erscheint fast ebenso dunkel wie das Vergleichsfeld von 12^0, indem $\frac{V}{F} = 1{,}11$. Aus den abnehmenden Werten des $\frac{V}{F}$ bei zunehmendem Gesichtswinkel läßt sich berechnen, daß $\frac{V}{F} = 1$, wenn das Feld $5^0\,30'$ wird. Diese Größe des Feldes ist zwar nicht untersucht, es kann aber keinem Zweifel unterliegen, daß es wirklich dem weit größeren Vergleichsfeld gleich erscheinen würde, denn auch ohne Messungen kann man sich leicht davon überzeugen, daß die Stärke der inneren Hemmung sich nicht verändert, wenn das Feld über eine gewisse Größe hinaus wächst. Die Erfahrung bestätigt somit vollständig unsere theoretischen Folgerungen:

Felder gleicher Intensität, aber verschiedener Größe erscheinen gleich hell bis etwa 2^0 Winkelgröße, wo die Helligkeit mit wachsendem Gesichtswinkel abzunehmen anfängt, indem zugleich ein Unterschied zwischen dem stärker gehemmten, mithin dunkleren Zentrum und der helleren Peripherie des Feldes entsteht (Randkontrast). Bei etwa 6^0 Winkelgröße wird das zentrale Element vollständig gehemmt, und die Helligkeit sinkt daher mit wachsender Größe des Feldes nicht ferner: nur wird der dunkle Zentralteil stets größer.

Bisher wurde der Einfachheit wegen vorausgesetzt, daß das hemmende und das gehemmte Feld dieselbe Helligkeit haben, damit wir ohne Rücksicht auf die Intensität die Abhängigkeit der Hemmung von der Größe des Feldes untersuchen könnten. Wir betrachten jetzt ein Feld von der Intensität F auf einem Hintergrunde von der Intensität H. Die Größe des Feldes ist ohne Bedeutung, wenn es nur nicht größer ist, als daß es vom Hintergrunde in der ganzen Ausdehnung gehemmt werden kann, was noch bis 4^0, die doppelte Breite des Randkontrastes der Fall ist. Der Hintergrund muß eine vollständige Hemmung ausüben können, also jedenfalls nicht kleiner als 6^0 sein. Da die Netzhaut sich in etwa 5 Sek. an den Reiz adaptiert (S. 225) und Gleichgewicht zwischen

Dissimilation und Assimilation dann erreicht ist (S. 87), so wird also, wenn diese Beobachtungszeit innegehalten wird, der Stoffumsatz konstant sein und eben durch die Reizstärke bestimmt. Wenn keine Hemmung stattfände, würde dann die gesamte umgewandelte Energie $F + H$ proportional sein, von welcher Größe das Feld den Bruchteil $\frac{1}{p} = \frac{F}{F+H}$, und der Hintergrund $\frac{1}{q} = \frac{H}{F+H}$ verbrauchen würde. Durch die Hemmung vom Hintergrunde aus wird die Helligkeit des Feldes aber herabgesetzt, so daß es dunkler erscheint. Es sei F_0 diejenige Reizstärke, die auf lichtlosem Hintergrunde, also ungehemmt, dieselbe Wirkung hervorbringen würde wie F auf dem Hintergrunde H. Die relative Verminderung der Helligkeit des Feldes ist dann $\frac{F - F_0}{F}$. Laut des Hemmungsgesetzes ist diese Größe gleich der Energie $\frac{1}{Q}$, die tatsächlich zur hemmenden Arbeit verbraucht wird. Eliminiert man $\frac{1}{P}$ aus den beiden Gleich. 23 (S. 156), ergibt sich:

$$\frac{1}{Q} = \frac{\frac{1}{q}\left(1 - \frac{1}{p}\right)}{1 - \frac{1}{pq}} = \frac{H^2}{F^2 + FH + H^2}$$

wenn die obigen Werte des $\frac{1}{p}$ und $\frac{1}{q}$ eingesetzt werden. Man hat also:

$$\frac{F - F_0}{F} = \frac{H^2}{F^2 + FH + H^2} \text{ oder}$$

$$\frac{F_0}{F} = \frac{F^2 + FH}{F^2 + FH + H^2} = \frac{f^2 + f}{f^2 + f + 1} \quad \ldots \text{(Gl. 46.)}$$

indem $\frac{F}{H} = f$ gesetzt wird.

Die Gleich. 46 hat selbstverständlich auch in dem Falle Gültigkeit, wo $F = H$ oder $f = 1$ ist. Bezeichnen wir, um Verwechselungen zu vermeiden, $F = H = I$, so erhalten wir aus der Gleich. 46:

$$F_0 = \frac{2}{3} I \text{ oder } I = \frac{3}{2} \cdot F_0 \quad \ldots\ldots \text{(Gl. 47.)}$$

Die Theorie führt also zu der Konsequenz, daß ein großes, gleichmäßig beleuchtetes Feld eine 1,5 mal größere Intensität haben muß als ein Flächenelement auf lichtlosem Hintergrunde, um in der Mitte, wo es völlig gehemmt wird, dem Flächenelement gleich zu erscheinen. Eben dieses geht aber aus

den Messungen der Tab. 27 hervor, wo ein großes Feld mit kleineren verglichen wurde. Im Mittel ergeben die Messungen $\frac{V}{F} = \frac{I}{F_0} = 1{,}452$; sie haben jedoch eine Korrektion nötig, wovon später die Rede sein wird.

Die Gültigkeit der Gleich. 46 läßt sich natürlich auch dann prüfen, wennn F und H verschieden sind.

Bei solchen Bestimmungen kann man auf verschiedene Weise verfahren. Entweder vergleicht man F auf dem Hintergrunde H mit einem kleinen Felde auf lichtlosem Hintergrunde und sucht die Intensität F_0 des kleinen Feldes, die gleich F erscheint. Für die so gefundenen Werte gilt dann Gleich. 46. Oder aber man vergleicht F auf dem Hintergrunde H mit einem großen Felde und bestimmt die Intensität I des letzteren, die gleich F erscheint. Die für diesen Fall geltende Gleichung erhält man, wenn man F_0 aus den Gleich. 46 und 47 eliminiert. Man hat dann:

$$\frac{I}{F} = \frac{3}{2} \cdot \frac{f^2 + f}{f^2 + f + 1} \quad \ldots\ldots\ldots \text{(Gl. 48).}$$

Schließlich kann man auch F auf dem Hintergrunde H mit einem Felde F' auf dem Hintergrunde H' vergleichen und z. B. F' so einstellen, daß es gleich F erscheint. Setzen wir in diesem Falle $\frac{F'}{H'} = f_1$, so erhalten wir aus Gleich. 46 die analogen Gleichungen:

$$F_0 = F \frac{f^2 + f}{f^2 + f + 1} = F' \cdot \frac{f_1^2 + f_1}{f_1^2 + f_1 + 1} \quad \text{also}$$

$$\frac{F}{F'} = \frac{f_1^2 + f_1}{f_1^2 + f_1 + 1} \cdot \frac{f^2 + f + 1}{f^2 + f} \quad \ldots\ldots\ldots \text{(Gl. 49.)}$$

Tabelle 28.

$\frac{F}{H}$	$\frac{I}{F}$		$\frac{F}{H}$	$\frac{I}{F}$		$\frac{F}{H}$	$\frac{I}{F}$		$\frac{F}{H}$	$\frac{I}{F}$	
	gef.	*ber.*		*gef.*	*ber.*		*gef.*	*ber.*		*gef.*	*ber.*
0,016	0,030	0,023	0,571	0,619	0,709	1,25	1,102	1,107	4	1,449	1,429
0,031	0,048	0,047	0,615	0,716	0,748	1,375	1,134	1,148	8	1,447	1,480
0,063	0,100	0,094	0,667	0,778	0,789	1,5	1,169	1,184	16	1,531	1,495
0,125	0.209	0,185	0,727	0,794	0,835	1,625	1,210	1,215	32	1,529	1,498
0 25	0.367	0,357	0,8	0,872	0,885	1,75	1,237	1,242	64	1.499	1,499
0.5	0,518	0,643	0,889	0,954	0,940	1,875	1,287	1.265	256	1,477	1,500
0,534	0,560	0,675	1,125	1,062	1,058	2	1,288	1,286			

In Tab. 28 ist eine Reihe Messungen wiedergegeben, die nach der zweiten der erwähnten Methoden ausgeführt sind, indem F auf dem Hintergrunde H mit einem Feld I auf einem Hintergrunde, der ebenfalls die Intensität I hatte, verglichen wurde. Die Tabelle enthält die den gegebenen Verhältnissen $\frac{F}{H}$ ent-

sprechenden Werte $\frac{I}{F}$; die letzteren sind Mittelwerte aus zahlreichen, von verschiedenen Vp. bei verschiedenen absoluten Werten des F und H ausgeführten Bestimmungen[1]). Außerdem sind die nach Gleich. 48 berechneten Werte $\frac{I}{F}$ angeführt; die Übereinstimmung zwischen Messung und Berechnung ist, wie ersichtlich, sehr befriedigend.

Aus Tab. 28 ersieht man ferner, wie anzunehmen war, daß F um so stärker gehemmt wird, je größer H im Verhältnis zu F ist. Je kleiner nämlich $\frac{F}{H}$ ist, um so kleiner wird auch $\frac{I}{F}$, und um so mehr muß also die Intensität I herabgesetzt werden, um gleich F zu erscheinen. Wenn umgekehrt $F > H$ ist, so wird $I > F$, d. h. I muß vergrößert werden, um gleich F zu erscheinen. I wird nämlich auf einem Hintergrunde von der eigenen Intensität gesehen und somit stärker gehemmt als F, das auf einem dunkleren Hintergrunde gesehen wird. Man hat früher diese beiden Fälle als zwei verschiedene Erscheinungen aufgefaßt; die Verdunkelung eines Feldes auf hellerem Hintergrunde wurde *negativer*, die Aufhellung des Feldes auf dunklerem Hintergrunde *positiver* Kontrast genannt. Die Aufhellung ist aber einfach eine Täuschung, die darauf beruht, daß das Feld weniger gehemmt wird als das Vergleichsfeld, das auf einem relativ helleren Hintergrunde gesehen wird. *Es gibt somit gar nicht zwei, sondern nur eine Kontrasterscheinung.* Sowohl der positive als der negative Kontrast sind einfache Folgen des Hemmungsprozesses und nur Spezialfälle des allgemeinen Satzes: *ein Feld gegebener Intensität wird um so mehr gehemmt, erscheint mithin um so dunkler, je heller der Hintergrund ist, auf dem es gesehen wird.*

Wie schon oben erwähnt, ist es für das Zustandekommen einer Hemmung gar nicht notwendig, daß das Feld von einem beleuchteten Hintergrund umgeben ist; zwei getrennte Felder hemmen sich auch gegenseitig, sobald nur ihre Hemmungsgebiete teilweise zusammenfallen. Je weiter die beiden Felder von einander entfernt sind, um so geringer muß die Hemmung sein, was auch von der Erfahrung bestätigt wird. Geben wir, der Einfachheit wegen, den Feldern die Größe eines Flächenelementes ($1^{0}\ 42'$), und bezeichnen wir mit H, resp. F und

---

[1]) Lehmann: Psychodynamik, S. 226 u. 230.

V die Intensität des hemmenden, des gehemmten und des Vergleichfeldes. In der Fig. 62 sind drei verschiedene Lagen der drei Felder gezeichnet. V ist konstant 1° 42′ von F entfernt; in der Lage A befindet sich H in dem nämlichen Abstand von F, in der Lage B ist der Abstand nur halb so groß (51′), und in der Lage C berühren sie sich. Es läßt sich nun leicht in jeder Lage bestimmen, wie F von H gehemmt wird, indem die Intensität V gesucht wird, die gleich F erscheint. Wenn $H = F$ ist, findet man:

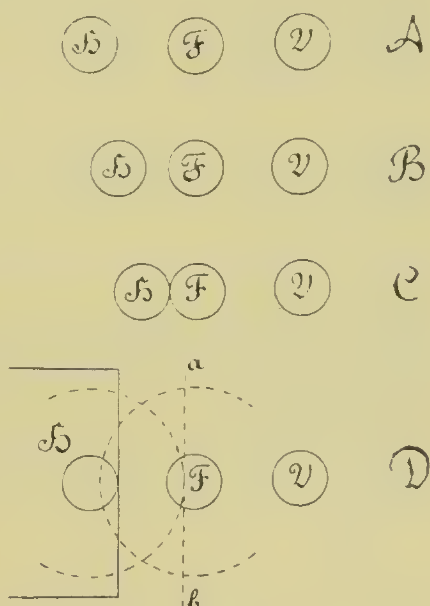


Fig. 62.

Lage	A	B	C
$\frac{V}{F}$	0,999	0,890	0,825

V wird also um so kleiner, F mithin um so mehr gehemmt, je näher H und F einander liegen. Wird F vollständig von H umgeben, erhalten wir theoretisch den Wert $\frac{V}{F} = \frac{2}{3} = 0{,}667$ (Gleich. 47), womit die Messungen der Tab. 27 übereinstimmen, indem sie im Mittel $\frac{I}{1{,}452} = 0{,}688$ ergeben. Die sich berührenden Felder der Lage C sind also noch sehr weit davon entfernt, sich vollständig zu hemmen. Es ist leicht ersichtlich, daß eine Vergrößerung des hemmenden Feldes, bei unveränderter Intensität und Entfernung der Felder, die Stärke der Hemmung nicht wesentlich verändern wird: die Lage D der Fig. 62 beleuchtet einen solchen Fall. Die drei Felder, H, F und V, liegen hier wie in der Lage A. Die punktierten Zirkel stellen die Hemmungsgebiete der beiden zirkulären Felder H und F dar; wird nun H durch das große quadratische Feld ersetzt, so wird die Gerade ab die Grenze des Hemmungsgebietes dieses Feldes. Der gemeinsame Teil der beiden Hemmungsgebiete ist also jetzt etwas, aber nicht viel größer geworden; die Hemmung kann folglich nur wenig stärker werden.

Die Richtigkeit dieser Konsequenz der Theorie geht aus der Tab. 29 hervor. Es wurde hier die Hemmung zwischen H und F sowohl in der Lage A als in der Lage D untersucht,

indem die letztere sich von der ersteren nur dadurch unterscheidet, daß das zirkuläre Feld H durch ein großes quadratisches ersetzt ist. In jeder Lage wurde die Hemmung bei verschiedenen Werten der Intensitäten H und F untersucht; in der obersten Reihe der Tabelle ist das Verhältnis $\frac{F}{H}$ angegeben, und bei jedem dieser Werte ist das dem F gleich erscheinende V bestimmt. Die Tabelle enthält die gefundenen Größen $\frac{V}{F}$, und diese sind für die Lage A durchgängig etwas größer als für die Lage D; F ist also im ersteren Falle weniger stark gehemmt worden, der Unterschied ist aber nur unbedeutend.

Tabelle 29.

		$\frac{F}{H}=$	1,00	0,17	0,094	0,052	0,0155
A	$\frac{V}{F}$	*gef.*		0,652	0,440	0,342	0,152
		ber.		0,686	0,488	0,325	0,145
		k		0,200	0,225	0,160	0,145
D	$\frac{V}{F}$	*gef.*	0,940	0,617	0,410	0,352	0,114
		ber.	0,981	0,571	0,386	0,254	0,123
		K	0,362	0,223	0,244	0,184	0,274

Nach welchem Gesetz die Hemmung mit wachsendem Abstand der beiden Felder abnimmt, wissen wir nicht, wir können aber nichtsdestoweniger für gegebene Fälle eine einfache Formel aufstellen. Da die Hemmung um so kleiner wird, je weiter die beiden Felder von einander entfernt sind, können wir das Verhältnis so auffassen, als ob das hemmende Feld das gehemmte umgäbe, aber nur mit einem Bruchteil seiner Intensität hemmend wirkte. Dieser Bruchteil wird dann selbstverständlich um so kleiner, je weiter die Felder von einander entfernt sind. Gehen wir hiervon aus, können wir ferner annehmen, daß nur die Hemmung einerseits zwischen H und F, anderseits zwischen F und V von Bedeutung sei. Es sei k der konstante Bruchteil des H, der auf F einwirkt. In der Lage A, wo der Abstand zwischen F und V demjenigen zwischen H und F gleich ist, wirkt dann ebenfalls von F nur der Bruchteil k auf V hemmend ein. Für den Kontrast zwischen H und F erhalten wir dann, Gleich. 46 zufolge:

$$\frac{F_0}{F} = \frac{F^2 + kFH}{F^2 + kFH + k^2H^2} = \frac{f^2 + kf}{f^2 + kf + k^2} \quad . \; . \; \text{(Gl. 50).}$$

Wird nun ferner F als das hemmende, V als das gehemmte Feld betrachtet, so ergibt sich für diese Wirkung der ganz analoge Ausdruck:

$$\frac{V_0}{V} = \frac{v^2 + kv}{v^2 + vk + k^2} \quad \text{. . . . . (Gl. 51),}$$

indem $\frac{V}{F} = v$ gesetzt wird, und V_0 die Intensität bedeutet, die ohne Hemmung gleich der gehemmten V erscheinen würde. Da nun V gleich F eingestellt wird, ist mithin $V_0 = F_0$, und man hat also:

$$\frac{V}{F} = v = \frac{v^2 + kv + k^2}{v^2 + kv} \cdot \frac{f^2 + kf}{f^2 + kf + k^2} \quad \text{. . . . (Gl. 52).}$$

Werden die Werte $\frac{F}{H} = f$ und $\frac{V}{F} = v$ der Tab. 29, A eingesetzt, kann k berechnet werden, was am einfachsten auf die Weise ausgeführt wird, daß dem k verschiedene Werte (0,1; 0,2; 0,3 usw.) beigelegt werden, die entsprechende Größe der rechten Seite der Gleichung berechnet und durch graphische Interpolation der Wert des k bestimmt wird, der die Gleichung befriedigt. Die so gefundenen. einigermaßen konstanten Werte von k sind in der Tab. 29 aufgeführt. Der mittlere Wert ist $k = 0{,}182$, und hieraus ist dann wieder $\frac{V}{F}$ zu berechnen, indem die Gleich. 52 auf die Form:

$$\frac{v\,(v^2 + 0{,}182\,v)}{v^2 + 0{,}182\,v + 0{,}182^2} = \frac{f^2 + 0{,}182\,f}{f^2 + 0{,}182\,f + 0{,}182^2}$$

gebracht wird. Die linke Seite der Gleichung kann als Funktion von v gezeichnet werden, und darauf kann man diejenige Werte von v finden, welche der Funktion die Werte der rechten Seite der Gleichung geben. Die so berechneten Werte $\frac{V}{F}$ sind in der Tab. 29 angegeben und stimmen, wie ersichtlich, sehr wohl mit den gefundenen überein.

In der Lage D ist der Kontrast zwischen F und V der nämliche wie bei der Lage A, dagegen muß, dem oben Gesagten zufolge, eine etwas stärkere Hemmung zwischen H und F stattfinden. In Gleich. 51 können wir daher $k = 0{,}182$ setzen, während in Gleich. 50 K statt k gesetzt werden muß. Aus den Gleich. 50 und 51 ergibt sich dann eine der Gleich. 52 analoge Formel, woraus K sich berechnen läßt. Die betreffenden, in Tab. 29 aufgeführten Werte schwanken zwar recht bedeutend, aber nicht gesetzmäßig; als mittleren Wert findet man $K = 0{,}257$. Wird diese Größe in die Gleichung eingesetzt, kann $\frac{V}{F}$ berechnet werden. Die Werte stimmen sehr gut mit den gefundenen überein, nur bei $\frac{F}{H} = 0{,}052$ kommt eine größere Abweichung vor, aber der gefundene Wert ist hier zweifellos unrichtig, da er größer als der der Lage A ist.

Da die nach den theoretischen Formeln berechneten Werte $\frac{V}{F}$ der Tab. 29 mit den gefundenen übereinstimmen, haben wir hier einen ferneren Beweis für die Richtigkeit der Theorie.

Die Tab. 29 zeigt, daß ein großes Feld auf ein Flächenelement in einer Entfernung von 1° 42′ hemmend einwirkt. Eben diese Anordnung wurde aber oben (Tab. 27) angewandt, um die innere Hemmung eines großen Feldes zu bestimmen, und folglich können die dort gefundenen Zahlen nicht genau sein. Da nämlich das kleine Feld F vom großen Felde V gehemmt worden ist, so erschien F dunkler, als es ohne Hemmung der Fall sein würde, und V ist mithin zu klein gefunden, weil es so eingestellt wurde, daß es gleich F erschien. Die Größen $\frac{V}{F}$ der Tab. 27 sind also tatsächlich zu klein ausgefallen. Nun kennen wir aber die Größe der Hemmung unter diesen Umständen (Tab. 29 Lage *D*), und es läßt sich also die Intensität F_0 berechnen, die ohne Hemmung der gehemmten Intensität F gleich erscheinen würde; die Werte $\frac{V}{F_0}$ geben dann die tatsächliche innere Hemmung des großen Feldes an.

Der Gleich. 50 analog hat man für die Verhältnisse der Tab. 27:

$$\frac{F_0}{F} = \frac{F^2 + KFV}{F^2 + KFV + (KV)^2} = \frac{1 + 0{,}257\, f}{1 + 0{,}257\, f + (0{,}257\, f)^2}$$

indem $K = 0{,}257$ bei dieser Lage gefunden ist, und $\frac{V}{F} = f$ gesetzt wird. Hieraus läßt sich $\frac{F_0}{F}$ berechnen, und man erhält dann:

$$\frac{V}{F_0} = \frac{V}{F} : \frac{F_0}{F}$$

In Tab. 27 sind die korrigierten Werte, $\frac{V}{F_0}$, aufgeführt. Die meisten derselben überschreiten den theoretischen Wert 1,5, während andere dagegen mit dem letzteren völlig übereinstimmen. Wie diese Tatsache zu deuten ist, läßt sich wohl vorläufig kaum entscheiden. Es gibt eine ganze Reihe verschiedener Umstände, die die Messungen beeinflussen können, und einige dieser Umstände werden zu große, andere dagegen zu kleine Werte herbeiführen. Diese Einflüsse der störenden Faktoren müßten eigentlich durch das angewandte Verfahren, durch die Konstruktion vollständiger Fehlerkurven, eliminiert worden sein; trotz aller Sorgfalt scheint es also dennoch nicht geglückt zu sein.

Der Farbenkontrast kann sehr verschiedene Formen annehmen, je nachdem die sich hemmenden Felder nur intensiv

oder zugleich qualitativ verschieden sind. Haben die Felder denselben Farbenton, so entsteht ein *Helligkeitskontrast der farbigen Lichter,* und diese Kontrasterscheinung unterliegt denselben Gesetzen, die oben für weißes Licht gefunden wurden. Hiervon kann man sich am einfachsten auf die Weise überzeugen, daß man mit weißem Licht auf verschiedenen, dunklen und hellen Hintergründen Felder herstellt, deren Intensität so gewählt wird, daß die Felder gleich erscheinen. Betrachtet man nun diese Kombinationen durch farbige, nicht zu dunkle Gläser, wird die Identität der Felder dadurch nicht gestört: *der Helligkeitskontrast ist unabhängig von dem Farbenton des Lichtes.* Sind die farbigen Gläser dagegen sehr dunkel, werden außer dem Kontraste noch die Helligkeitsvariationen der Farben (S. 205) mitwirken, wodurch Störungen entstehen.

Sind die beiden sich gegenseitig hemmenden Felder auch verschiedener Farbe, so tritt neben der Herabsetzung der Intensität zugleich eine Veränderung des Farbentons ein. Zwei Fälle können hier vorkommen. Entweder ist das eine Feld weiß und das andere farbig; dann wird das weiße Feld durch die Einwirkung des anderen gefärbt; diese Wirkung wird *Farbeninduktion* genannt. Oder die beiden Felder sind farbig, und dann tritt eine gegenseitige Veränderung des Farbentons ein; man spricht dann von *Farbenkontrast* im engeren Sinne.

Um die *Farbeninduktion* unabhängig von dem gleichzeitigen Helligkeitskontrast untersuchen zu können, muß man das Feld und den Hintergrund so wählen, daß sie gleich hell erscheinen. Mittels farbiger und grauer Papiere lassen sich die zu erwähnenden Erscheinungen leicht beobachten, und steht einem nur eine größere Anzahl Abstufungen von Grau zur Verfügung, läßt sich unschwer zu jeder Farbe je ein Grau finden, das dieselbe Helligkeit wie die Farbe hat. Man legt nun zwei solche Papiere, ein farbiges und ein entsprechendes graues von etwa 10 × 20 cm Größe, nebeneinander; ein kleines Stück desselben Grau, etwa 15 mm im Quadrat, wird einen Augenblick gegen den grauen Hintergrund gesehen und darauf mittels einer feinen Pinzette schnell auf den farbigen Hintergrund hinübergeführt. In dem Momente, wo der Hintergrund des grauen Schnitzelchens wechselt, *färbt es sich deutlich mit der Komplementärfarbe des Hintergrundes.* Die Färbung ist indes so schwach, daß nur die Farben veränderung merklich wird; liegt das graue Quadrat auf dem farbigen Hintergrund,

ist von einem Farbenton des Grau kaum eine Spur sichtbar, selbst dann nicht, wenn die Farbe des Hintergrundes sehr gesättigt ist. Daß das graue Quadrat dennoch gefärbt ist, läßt sich beobachten, wenn zwei farbige Hintergründe von ungefähr gleicher Helligkeit nebeneinander liegen und auf jedem derselben ein graues Quadrat, etwa 4 cm voneinander entfernt. Wird die Mitte zwischen den quadratischen Feldern einige Sekunden fixiert, so ist ihre verschiedene Farbe leicht merklich.

Von der Sättigung der induzierenden Farbe ist die Induktion auf die Weise abhängig, daß *die Stärke der Farbeninduktion mit der Sättigung des farbigen Hintergrundes anfangs sehr stark wächst, um dann schon bei einer relativ geringen Sättigung des Hintergrundes einen fast konstanten Wert zu erreichen*[1]). Hierdurch entsteht unter gewissen Umständen die Täuschung, daß eine weniger gesättigte Farbe eine stärkere Iuduktion hervorruft als eine mehr gesättigte. Ein graues Quadrat auf einem sehr gesättigten Hintergrund zeigt, wie schon gesagt, kaum einen schwachen Anstrich von Farbe. Breitet man aber ein Stück weißes Seidenpapier über Grund und Feld aus, tritt sofort am Felde die Komplementärfarbe des Hintergrundes stark hervor, obschon die Farbe des Grundes durch das Seidenpapier nur schwach hindurchschimmert. Die induzierte Farbe wird aber hier leichter merklich, weil man eigentlich nur eine weiße Fläche sieht, die vom Hintergrund und Feld einen verschiedenen Schimmer erhält; ein solcher Unterschied der Färbung einer sonst gleichmäßigen Fläche wird immer sehr leicht bemerkt. Daß die induzierte Farbe dennoch nicht stärker ist als diejenige, die von dem gesättigteren Hintergrunde induziert wird, läßt sich zeigen, wenn man auf denselben Hintergrund zwei gleichhelle graue Quadrate legt und die Hälfte des Grundes nebst dem einen Quadrat mit Seidenpapier bedeckt. Vergleicht man mit fixiertem Auge die beiden Felder, ist es ersichtlich, daß das vom Seidenpapier bedeckte Feld jedenfalls nicht stärker als das andere gefärbt ist.

Die Erklärung der Farbeninduktion schließt sich der des Helligkeitskontrastes eng an, indem es sich ebenfalls um eine Hemmung handelt. Die vom farbigen Hintergrunde ausgelösten Erregungen hemmen die des Feldes; dadurch wird die Intensität

[1]) Köhler: Der simultane Farben- und Helligkeitskontrast. Archiv für Psychol. Bd. 2, S. 507.

des letzteren herabgesetzt. Besonders stark werden aber diejenigen Erregungen gehemmt, die der Farbe des Hintergrundes entprechen. Ist der Hintergrund z. B. grün, so wird innerhalb des Hemmungsgebietes besonders die Grünerregung gehemmt, und das weiße Licht des Feldes muß also auf die Netzhaut dieselbe Wirkung ausüben, als ob es weniger Grün enthielte, d. h. das Feld wird in der Komplementärfarbe des Grün, also rötlich, gesehen.

Eine ähnliche Hemmung muß selbstverständlich auch dann stattfinden, wenn nicht Weiß, sondern irgend eine der bunten Farben sich innerhalb des Hemmungsgebietes einer farbigen Fläche befindet. Bei diesem *Farbenkontrast im engeren Sinne* muß also, wie bei der Farbeninduktion, die gehemmte Farbe sich so verändern, als ob etwas von der Komplementärfarbe des Hintergrundes ihr beigemischt wäre. Daß es sich tatsächlich so verhält, läßt sich durch ein ähnliches Verfahren wie das oben zur Untersuchung der Farbeninduktion angewandte ohne Schwierigkeit nachweisen. *Ein farbiges Feld auf einem anders gefärbten Hintergrunde gesehen nimmt eine der Komplementärfarbe des Hintergrundes ähnlichere Farbe an.* Diese Veränderung tritt am besten hervor, wenn Feld und Hintergrund gleich hell sind[1]). Übrigens ist der Farbenkontrast fast gar nicht untersucht worden, hauptsächlich wohl, weil es äußerst schwierig ist, verschiedenen Farbentönen genau dieselbe Helligkeit zu geben. Wenn diese Bedingung aber nicht erfüllt ist, läßt es sich auch nicht entscheiden, ob die beobachtete Veränderung des reagierenden Feldes eine Änderung des Farbentons oder der Helligkeit ist.

Vierundfünfzigstes Kapitel.

Der Lichthof und die nachlaufenden Bilder.

Da Hemmungen in der Netzhaut, wie wir gesehen haben, zweifellos vorkommen, müssen auch Bahnungen daselbst nachzuweisen sein. Eine derartige Erscheinung läßt sich denn auch durch den folgenden einfachen Versuch beobachten. Mit normal helladaptierter Netzhaut und fixiertem Auge betrachtet man 10 – 20 Sek. ein Stück weißes Papier auf schwarzem Hintergrunde bei guter Beleuchtung. Die Augen werden

---

[1]) Lehmann: Farvernes elementäre Ästhetik. Kbhn. 1884, S. 135 f.

dann schnell geschlossen und mit den Händen bedeckt, während übrigens Augenbewegungen so weit möglich vermieden werden. An der Stelle des weißen Feldes sieht man dann ein tiefschwarzes Feld von einem hellen, leuchtenden Ring (dem Hering'schen „Lichthof") umgeben. Der Lichthof nimmt allmählich an Stärke ab und verschwindet in 5 bis 30 Sek., je nach der Stärke des ursprünglichen Reizes und der Dauer von dessen Einwirkung. Ist die Beleuchtung des weißen Papiers nur schwach, sieht man nach dem Aufhören der Reizung anfangs ein positives Nachbild (vgl. S. 228 und 254), das sehr bald verschwindet. Während des Bruchteiles einer Sekunde sieht man dann überhaupt nichts; das ganze Gesichtsfeld scheint gleichmäßig, aber schwach beleuchtet zu sein. Darauf wächst der Lichthof schnell um das immer dunkler werdende Nachbild hervor. Je stärker der ursprüngliche Reiz, um so schneller verschwindet das positive Nachbild, so daß diese Phase bei intensiver Reizung gar nicht merklich wird.

Um genauere Untersuchungen über diese Erscheinungen anstellen zu können, muß man sich eines Apparates bedienen, der erlaubt, die Reizung plötzlich zu unterbrechen, so daß die Augen ohne Schließung der Lider oder sonstige Bewegungen sich völlig im dunkeln befinden. Nur unter solchen Umständen kann man die oft äußerst schnell verlaufenden Variationen der Nachbilder ungestört beobachten.

Daß der Lichthof eine Wirkung der Bahnung ist, geht aus mehreren Umständen hervor. Erstens gibt es ja gar keinen gleichzeitigen Reiz, der die Erscheinung hervorruft; sie tritt als Wirkung einer vorhergehenden Reizung an einem anderen Teile der Netzhaut auf, und die Erregung muß sich also von der gereizten Stelle aus fortgepflanzt haben. Zweitens bekundet sich diese Wirkung erst dann, wenn die hemmende Wirkung der Reizung aufgehört hat. Wie die genauere Untersuchung zeigt, ist keine Spur des Lichthofes sichtbar, so lange das Nachbild positiv ist; erst wenn die Erregung so weit abgenommen hat, daß ihre bahnende Wirkung auf die Umgebung von der hemmenden nicht vernichtet wird (vgl. S. 159), tritt der Lichthof hervor und erreicht dann in wenigen Sekunden seine volle Stärke. Drittens ist der Lichthof unmittelbar am Rande des negativen Nachbildes am hellsten, und seine Stärke nimmt mit wachsender Entfernung von diesem Rande ab, was auch darauf hindeutet, daß der Lichthof durch eine vom Nachbilde aus sich fortpflanzende Erregung

zustande kommt. Viertens nimmt die Stärke und die Dauer des Lichthofes mit der Stärke der ursprünglichen Erregung zu. Fünftens hat der Lichthof dieselbe Ausdehnung wie das Hemmungsgebiet. Wir sahen oben, daß der Randkontrast in einer Breite von etwa 2° merklich ist. Da der Lichthof sich allmählich in das Lichtflimmer der helladaptierten Netzhaut verliert, gibt es keine scharfe äußere Grenze; in einer Entfernung von 1,5° vom Rande des Nachbildes ist der Hof aber noch unzweifelhaft heller als das übrige Gesichtsfeld. Diese Übereinstimmung ist kaum zufällig.

Zu den angeführten Momenten kommt noch, daß die Stärke, die Dauer und die Ausdehnung des Lichthofes mit zunehmender Dunkeladaptation abnehmen. Nach halbstündiger Dunkeladaptation ist die Erscheinung bis auf einen schmalen, wenig hervortretenden Kontour reduziert, und nach ein- bis zweistündiger Dunkeladaptation ist sie überhaupt nicht mehr nachweisbar. Dieser Umstand zeigt vielleicht besser als die übrigen, daß es sich um eine Bahnung im engsten Sinne handelt. Die sich von der gereizten Netzhautstelle aus fortpflanzende Erregung kann keine Empfindung auslösen, wenn sie nicht durch die Erregung der helladaptierten Netzhaut unterstützt wird; in der dunkeladaptierten Netzhaut verläuft die Bahnung daher wirkungslos (vgl. S. 427).

Tabelle 30.

R	1024	4096	16 384	65 536	262 144
H	38,4	99,5	245	488	1 150
H ber.	38,3	92,0	221	532	1 279

Schließlich sei noch angeführt, daß die Helligkeit des Lichthofes mit der für die Stärke der Bahnung theoretisch entwickelten Formel:

$$R_t = R - r = u \cdot R^v \quad \ldots\ldots\ldots \text{(Gl. 29)}$$

übereinstimmt. Hier bedeutet R_t den Reizwert des Bahnungszuwachses, d. h. die Wirkung der Bahnung ist derjenigen gleich, die man erhalten würde, wenn der Reiz r um die Größe R_t verstärkt wurde (S. 161). Mißt man also die Helligkeit H des Lichthofes, so ist $H = R_t$ eben die Reizgröße, die auf die helladaptierte Netzhaut einwirken muß, um dieselbe Wirkung als die Bahnung hervorzubringen. Wenn die Theorie richtig ist, steht also zu erwarten, daß $H = u \cdot R^v$. In der Tab. 30 ist R die gegebene Stärke des bahnenden Feldes,

H die gemessene Helligkeit des Lichthofes, während „$H \cdot$ber" aus der Gleichung $H = 0{,}476 \cdot R^{0{,}633}$ berechnet worden ist. Die Größen $u = 0{,}476$ und $v = 0{,}633$ sind die wahrscheinlichsten Werte der Konstanten, aus den gemessenen Werten H abgeleitet. Messung und Berechnung stimmen hier so gut überein, daß die Gültigkeit der Formel nicht zweifelhaft sein kann.

Bei diesen Messungen verfuhr ich folgendermaßen. Ein halbzirkuläres Feld von der Helligkeit R wurde mit normal helladaptierter Netzhaut 20 Sek. betrachtet; das Zentrum des Zirkels wurde fixiert. Durch eine schlittenartige Vorrichtung ließ sich der Reiz unterbrechen, und gleichzeitig erschien in der bisher lichtlosen Hälfte des Gesichtsfeldes ein schmales, schwach beleuchtetes Vergleichsfeld, parallel dem Diameter des halbzirkulären Feldes. Durch kleine Augenbewegungen war es leicht zu erreichen, daß der sich entwickelnde Lichthof unmittelbar an das Vergleichsfeld grenzte, und die Helligkeit des letzteren wurde dann möglichst schnell der des Lichthofes gleich gemacht. Weil der Lichthof nicht lange dauert und seine Helligkeit außerdem fortwährend abnimmt, sind die Bestimmungen recht ermüdend und können auf keine besonders große Genauigkeit Anspruch machen.

Wird monochromatisches Licht statt Weiß als Reizlicht angewandt, verändert sich dadurch in der Hauptsache nichts. Die obigen Bemerkungen über Stärke, Dauer und Ausdehnung des Lichthofes sind auch in diesem Falle gültig. Nur in qualitativer Beziehung zeigt sich ein Unterschied, indem der Lichthof und das Nachbild farbig werden. *Der Lichthof zeigt stets die Farbe des Reizlichtes, die Farbe ist aber blaß, ungesättigt.* Diese Tatsache ist von wesentlicher Bedeutung, weil daraus hervorgeht, daß der bahnende Vorgang zwar auch am stärksten angebahnt wird, daß aber aller Wahrscheinlichkeit nach die übrigen Vorgänge des Zapfen- und Stäbchenapparates zugleich angebahnt werden. Der Lichthof wird daher weiß mit einem Anstrich der bahnenden Farbe. Wenn aber eine solche Wirkung außerhalb des gereizten Feldes stattfindet, muß sie auch innerhalb des Feldes vorkommen, wegen der gleichzeitigen Hemmung wird sie aber erst dann merklich, wenn die Erregung so weit abgenommen hat, daß die Bahnung das Übergewicht erhält. Dann zeigt sich das Nachbild, von dem leuchtenden Lichthof umgeben, dunkel mit einem Anstrich von der Komplementärfarbe des Reizlichtes. Ist das Reizlicht z. B. grün, so werden außerhalb des gereizten Feldes sämtliche Farbenprozesse, grün aber etwas stärker als die übrigen, angebahnt, und der Lichthof wird mithin blaßgrün. Innerhalb des Feldes findet dasselbe statt; nach dem Auf-

hören der Reizung sind die Vorgänge, die die Empfindung Grün auslösen, indes hier wegen der vorhergehenden Reizung am wenigsten erregbar, und das Feld zeigt sich daher dunkel rötlich. Dunkel erscheint das Feld aber nur, weil es vom leuchtenden Lichthof umgeben ist; bei dunkeladaptierter Netzhaut, wo der Lichthof nach kurzdauernder Reizung fehlt, ist das Nachbild positiv und komplementär gefärbt (S. 231).

Die beschriebenen Erscheinungen treten bei helladaptierter Netzhaut schon hervor, wenn die Reizung 0,5—1 Sek. dauert. Bei kürzerer Reizdauer entsteht und verschwindet der Lichthof so schnell, daß er kaum merklich wird. Man beobachtet dann (nach etwa 0,2 Sek. Reizdauer) erst ein mehr oder weniger schnell abklingendes, positives und gleichfarbiges Nachbild, darauf ein kurzes leeres Intervall, wo das Gesichtsfeld gleichmäßig dunkel erscheint, und schließlich ein langsam abklingendes weißliches Nachbild, das zweifellos dem negativen Nachbild der längeren Reizdauer entspricht, hier aber positiv hervortritt, weil der hellere Lichthof fehlt. Bewegt sich das farbige Reizlicht mit mäßiger Geschwindigkeit, während ein fester Punkt fixiert wird, so fallen die beiden Phasen räumlich auseinander; man sieht das farbige Licht an einer Stelle, während die Nachwirkung sich an den vorher gereizten Stellen entwickelt. Zwischen dem primären und dem sekundären Bilde ist dann ein schwarzer Zwischenraum. Mehr als diese beiden Bilder ist nie zu sehen, wenn man mit normal helladaptierter Netzhaut beobachtet.

Komplizierter werden die Erscheinungen dagegen, wenn die Netzhaut extrem helladaptiert ist. Die Wirkung länger dauernder Reize unterscheidet sich in diesem Fall wohl kaum von derjenigen, die man mit normal adaptierter Netzhaut beobachtet; dagegen bietet die Nachwirkung kurzdauernder Reize mehr Phasen dar. Da der Geschwindigkeitskoeffizient der Assimilationsvorgänge in der extrem helladaptierten Netzhaut wahrscheinlich sehr groß ist (S. 251), sinkt die Erregung so schnell, daß man selbst bei Reizungen von etwa 0,2 Sek. Dauer kein positiv-gleichfarbiges Nachbild sehen kann; das leere Intervall folgt unmittelbar dem primären Bilde. Da ein Lichthof sich auch nicht entwickelt, wird das folgende Nachbild positiv und dem Reizlichte komplementär gefärbt. Diese Färbung verschwindet bald, und das Nachbild klingt dann weißlich ab. Bewegt sich das Reizlicht, während das Auge fixiert ist, treten hier drei räumlich auseinander fallende Bilder

auf: das primäre, von der Reizung herrührende Bild, nach einem schwarzen Zwischenraum von dem komplementär gefärbten sekundären Bild gefolgt, das schließlich in einen langen weißlichen Schweif hinausläuft[1]).

Sowohl bei normal als bei extrem helladaptierter Netzhaut besteht also in betreff der Nachwirkungen zwischen lang- und kurzdauernden Reizungen der Unterschied, daß im ersteren Falle der Lichthof sich entwickelt, so daß das gleichzeitige sekundäre Nachbild negativ erscheint, während im letzteren Falle der Lichthof fehlt und das sekundäre Nachbild infolgedessen positiv erscheint. Dieser Unterschied erklärt sich leicht durch die stattfindenden Bahnungen. Nach lange dauernder Reizung ist die Erregbarkeit am Reizungsorte so stark herabgesetzt, daß die Bahnung außerhalb der gereizten Stelle relativ stärker wird: der Lichthof tritt hell um den dunkleren Reizungsort hervor. Nach kurz dauernder Reizung ist die Bahnung außerhalb des Reizungsortes nicht genügend stark, um einen Lichthof zu entwickeln, während andererseits die Erregbarkeit der gereizten Stelle nicht sehr herabgesetzt ist, und die Bahnung wird deshalb hier relativ stärker: der Lichthof fehlt, und das sekundäre Nachbild wird daher positiv. Bei kurzdauernder Reizung besteht noch zwischen der normal und der extrem helladaptierten Netzhaut der Unterschied, daß das sekundäre Nachbild im letzteren Falle anfangs dem Reizlichte komplementär gefärbt ist, um dann später den weißlichen Ton anzunehmen, der im ersteren Falle sofort auftritt. Dies beruht wahrscheinlich darauf, daß die Stäbchenfunktion bei extremer Helladaptation weit stärker herabgesetzt ist als bei normaler Helladaptation. Die Bahnung der Farbenprozesse der Zapfen gewinnt daher im ersteren Falle das Übergewicht, so daß das Nachbild eine kurze Zeit farbig erscheint; lange dauert diese Phase jedenfalls nicht. Da sie nur bei extremer Helladaptation vorkommt, welche Tatsache nicht früher bemerkt worden ist, hat man die Existenz dieser Phase bisweilen geleugnet, woraus verschiedene Kontroversen entstanden sind[2]).

---

[1]) Nagels Handbuch der Physiol. Bd. 3. S. 220 u. f.

[2]) v. Kries: Über die Wirkung kurzdauernder Reize. Zeitschr. für Psychol. Bd. 25. S. 242 u. f.

II. Zentrale Hemmungen und Bahnungen.

Fünfundfünfzigstes Kapitel.

Hemmungen gleichzeitiger Erregungen.

Die psychologische Terminologie ist auf einigen Gebieten noch recht schwankend. Das Wort Hemmung z. B. wird oft in anderen Bedeutungen als der physiologischen, der wir uns hier angeschlossen haben, angewendet. Was unter dem Namen Hemmung in der psychologischen Litteratur auftritt, kann daher Erscheinungen ganz anderer Art sein als diejenigen, die uns hier interessieren [1]). Daß die Hemmung einer Empfindung stattfinden kann, ohne daß die Aufmerksamkeit abgelenkt wird, ist wohl zuerst von Heymans nachgewiesen worden, aber nur in einem Falle ist es ihm geglückt, die Erscheinung außer jeden Zweifel zu stellen. Sobald nämlich die gehemmte und die hemmende Empfindung derselben Sinnesmodalität angehören, ist die Möglichkeit nicht auszuschließen, daß die beobachteten Veränderungen der Empfindungen rein peripherer Natur sind, von einem veränderten Adaptationszustand des Sinnesorgans oder dergleichen herrühren. Bei einigen der Heymans'schen Messungen kann es keinem Zweifel unterliegen, daß die beobachteten Veränderungen tatsächlich so zustande kommen [2]). Wirkt aber der hemmende Reiz auf ein anderes Sinnesorgan als der gehemmte ein, können die beiden Erregungen sich nur zentral beeinflussen.

Auf diese Weise stellte Heymans eine Reihe Messungen an, indem er das Ticken einer Uhr als den gehemmten, einen Faradischen Strom als den hemmenden Reiz anwandte [3]). Es wurde der Schwellenwert r_0 des Schallreizes festgestellt, indem die Entfernung der Uhr von der Versuchsperson variiert wurde.

---

[1]) Dies gilt z. B. von den verschiedenen Formen assoziativer Erschwerung, die Müller u. Pilzecker (Zur Lehre vom Gedächtnis, S. 134 u. f.) als Hemmungen bezeichnet haben, und ebenfalls teilweise von der von Ranschburg untersuchten Erschwerung der Auffassung (Zeitschr. für Psychol. Bd. 30, S. 39 und Journal für Psychol. u. Neurol. Bd. 5, S. 93). Wie Aal dargetan hat (Zeitschr. für Psych. Bd. 47, S. 98) beruht diese Erschwerung indes in einigen Fällen auf wirklicher Hemmung identischer Elemente.

[2]) Lehmann: Elemente der Psychodynamik. S. 246 u. f.

[3]) Über psychische Hemmung. Zeitschr. für Psychol. Bd. 34. S. 15 u. f.

bis das Ticktack eben merklich war. Darauf tauchte die Versuchsperson die Finger in zwei mit Wasser gefüllte Glasschälchen, die mit den Polen eines Induktionsapparates in Verbindung standen. Schon ein sehr schwacher Strom reichte sofort aus, um die Schallempfindung unmerklich zu machen, und es wurde dann für verschiedene Werte R der Stromstärke der entsprechende Reizschwelle r des Schallreizes bestimmt.

Da es in diesem Falle die zentralen Erregungen sind, die sich gegenseitig beeinflussen, müssen wir in das Hemmungsgesetz (Gleich. 23) diese Größen einsetzen. Es seien die dem r und dem R entsprechenden zentralen Erregungen e resp. E; Gleich. 22 zufolge hat man dann:

$$e = c\, log\left(1 + \frac{r}{\varkappa}\right) \text{ und } E = C \cdot log\left(1 + \frac{R}{K}\right)$$

Es sei ferner e_0 die der Reizschwelle r_0 entsprechende Größe der Erregung e. Da die Versuche so ausgeführt wurden, daß einer Schallerregung e, durch einen konstanten elektrischen Reiz R gehemmt, eine solche Größe gegeben wurde, daß sie eben merklich erschien, wurde also e durch die Hemmung auf e_0 herabgesetzt. Die relative Verminderung der Schallerregung ist mithin $\frac{e - e_0}{e}$. Dem Hemmungsgesetze zufolge muß diese Größe der hemmenden Erregung proportional sein. Wir haben also:

$$\frac{e - e_0}{e} = 1 - \frac{e_0}{e} = q \cdot E = q \cdot C \cdot log\left(1 + \frac{R}{K}\right) = p \cdot log\left(1 + \frac{R}{K}\right)$$

indem $q \cdot C = p$ gesetzt wird. Werden ferner die Werte e und e_0 durch r und r_0 ausgedrückt, erhält man:

$$\frac{log\left(1 + \frac{r_0}{\varkappa}\right)}{log\left(1 + \frac{r}{\varkappa}\right)} = 1 - p\, log\left(1 + \frac{R}{K}\right) \quad . \; . \; . \; . \; \text{(Gl. 53).}$$

Die Gleich. 53 stimmt sehr gut mit den Heymans'schen Messungen überein, viel besser jedenfalls als die von Heymans aufgestellte empirische Formel[1]).

In der Tab. 31 sind die Resultate der Heymans'schen Messungen für die beiden Versuchspersonen *W.* und *H.* wiedergegeben. R bezeichnet die Energie des hemmenden Induktionsstromes, durch das Quadrat der in Milliampères ausgedrückten Stromstärke gemessen, r ist

[1]) Vgl. Lehmann: Psychodynamik, S. 251.

die durch die Versuche ermittelte Schallstärke, indem als Einheit der Reiz genommen ist, den die Schallquelle in 10 m Entfernung erzeugte. In den folgenden Kolonnen sind die Werte $\frac{R}{K}$ und $\frac{r}{\varkappa}$ angegeben; auf die Bestimmung dieser Größen können wir hier nicht eingehen[1]. Die dem Hemmungsreize $R = 0$ entsprechenden Werte $\frac{r}{\varkappa}$ sind die Größen $\frac{r_0}{\varkappa}$. Aus diesen Werten lassen sich, der Gleich. 53 zufolge, die Konstanten p berechnen; werden als die wahrscheinlichen Werte dieser Größe $p = 0{,}772$ für *W.* und $p = 0{,}721$ für *H.* gesetzt, kann ferner nach Gleich. 53 r berechnet werden. Diese berechneten Werte sind unter „r ber." ebenfalls in Tab. 31 angeführt und stimmen wie ersichtlich fast völlig mit den gefundenen überein.

Tabelle 31.

R	Wiersma					Heymans				
	r	$\frac{R}{K}$	$\frac{r}{\varkappa}$	p	r *ber.*	r	$\frac{R}{K}$	$\frac{r}{\varkappa}$	p	r *ber.*
0	23,6	0	0,118		23,6	25,8	0	0,129		25,8
0,01	27,7	0,3	0,139	1,618	24,6	28,9	0,3	0,145	0,922	28,2
0,04	32,3	1,2	0,162	0,860	31,0	32,3	1,2	0,162	0,566	34,8
0,09	41,5	2,7	0,208	0,771	41,8	44,4	2,7	0,222	0,697	45,4
0,16	58,3	4,8	0,292	0,767	59,0	65,1	4,8	0,326	0,749	61,8
0,25	94,4	7,5	0,472	0,779	91,2	87,3	7,5	0,437	0,716	88,6

Der Übersicht wegen sind die Resultate in Fig. 63 graphisch dargestellt, indem als Abszisse der Hemmungsreiz R, als Ordinate der gehemmte Reiz r abgesetzt ist. Die gemessenen Größen sind durch kleine Zirkel bezeichnet, die vollgezeichneten Kurven sind durch die berechneten Werte gelegt. Diese nach Gleich. 53 berechneten Werte stimmen, wie aus der Figur ersichtlich, viel besser mit den gefundenen als die nach der Heymans'schen Formel berechneten, die durch die punktierten Geraden angegeben sind.

Die Heymans'schen Versuche sind nicht leicht anzustellen. Die Ermittelung der feineren Variationen des Schwellenwertes erfordert besonders bei Schallreizen sehr günstige Bedingungen, um einigermaßen genau zu werden, und selbst zur Demonstration der Hemmungserscheinung sind sie kaum geeignet. Da aber analoge Hemmungen selbstverständlich auch auf anderen Gebieten vorkommen, kann man sich von dem Tatsächlichen unschwer überzeugen. Als Hemmungsreiz hat der elektrische

[1]) Lehmann, a. a. O. S. 252.

Hautreiz wohl vor allen anderen den Vorzug, daß er eine bedeutende Stärke erhalten kann, ohne daß die Aufmerksamkeit

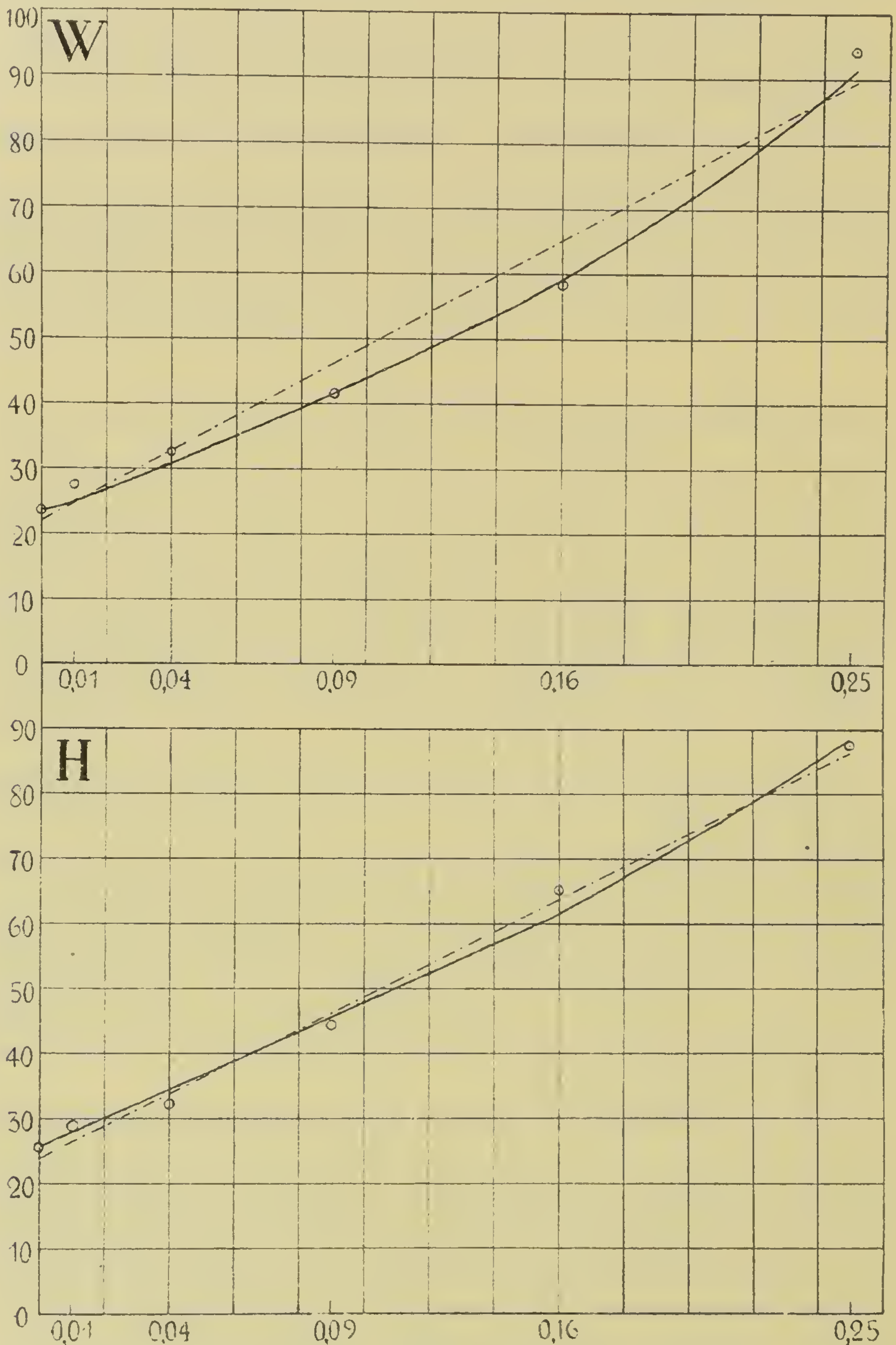


Fig. 63.

auf denselben gelenkt zu werden braucht, was von der größten Bedeutung ist. Es handelt sich ja nämlich eben darum, dar-

zutun, daß die Stärke einer Empfindung durch eine andere herabgesetzt werden kann, ohne daß die Aufmerksamkeit von der ersteren abgelenkt wird. Eine solche Ablenkung tritt aber fast unvermeidlich auf denjenigen Sinnesgebieten ein, wo einigermaßen klare und intensive Empfindungen von gewissen Muskelbewegungen (Konvergenzbewegungen der Augen, verstärktem Atemholen bei Gerüchen, Zungenbewegungen bei Geschmäcken usw.) abhängig sind, indem diese Bewegungen nur als Begleiterscheinungen der Aufmerksamkeitskonzentration auftreten. Bei den elektrischen Hautreizen dagegen sind solche Akkommodationsbewegungen gänzlich ausgeschlossen, und die Empfindungen können bei genügender Stromstärke jede beliebige Stärke erhalten, selbst wenn die Aufmerksamkeit in einer anderen Richtung konzentriert ist. Außerdem kann man diese Reize sehr leicht ein- und wieder ausschalten, wenn man z. B. die Zeigefinger je in ein Schälchen mit Wasser taucht, das mit den Polen der sekundären Rolle verbunden ist.

Auf die angegebene Weise kann man die Hemmung leicht demonstrieren, wenn man als gehemmten Reiz Licht anwendet und den Hemmungsreiz so stark macht, daß er eben unangenehm wird. Da der Versuch sich mit helladaptierter Netzhaut am besten ausführen läßt, ist die zeitraubende Dunkeladaptation mithin überflüssig. Am Boden eines Dunkelkastens ist ein graues Papier, etwa 5 cm im Quadrat, befestigt und wird aus einer solchen Entfernung betrachtet, daß die Ränder sich scharf abheben. Die Beleuchtung wird so gewählt, daß das Objekt bei dauernder Betrachtung eben sichtbar ist, ohne merklichen Intensitätsschwankungen (Kap. 61) unterworfen zu sein. In dem Augenblick, wo der Strom durch den Körper geschlossen wird, sieht man dann, wie die Ränder des Quadrates verschwinden, und auch in der Mitte des Objektes sinkt die Helligkeit gewöhnlich merklich. Wird der Strom bald wieder unterbrochen, tritt das Quadrat sofort wieder scharf hervor; nur wenn der Strom lange geschlossen gewesen ist, dauert es oft einige Zeit, ehe das Objekt völlig sichtbar wird.

Zu diesen Versuchen kann man einen prismatischen Dunkelkasten, etwa 1 m lang, 0,3 m im Quadrat, innen schwarz angestrichen, anwenden. Am einen Ende befindet sich ein beweglicher Boden, der lichtdicht verschlossen werden kann, nachdem das zu betrachtende Objekt darauf befestigt worden ist. Vor das andere, offene Ende können Blenden verschiedener Größe gesetzt werden, wodurch die in den Kasten eindringende Lichtmenge sich regulieren läßt. Wird der Kasten bei Tageslicht zu den Fenstern parallel aufgestellt, fällt

nur das von den Wänden reflektierte Licht hinein und beleuchtet das Objekt am Boden desselben. Da man sowohl die Helligkeit des grauen Papiers als, mittels der Blenden, die Stärke der Beleuchtung verändern kann, gelingt es leicht, dem Quadrate im Kasten eine passende Lichtstärke zu geben, so daß es dem helladaptierten Auge eben deutlich sichtbar ist.

Gehen wir davon aus, daß eine Hemmung nur dann zustande kommen könne, wenn die sich beeinflussenden Erregungen eine gemeinsame Strecke haben, sind die erwähnten Hemmungserscheinungen beim ersten Blick recht unverständlich. Die zentrale Tastsphäre liegt ja in der Hirnrinde recht weit von der Schallsphäre und noch weiter vom Gesichtszentrum entfernt, so daß von gemeinsamen Strecken der verschiedenen Empfindungen kaum die Rede sein kann. Die Sache wird überhaupt erst dann verständlich, wenn wir davon ausgehen, daß eine sogenannte einfache Empfindung in der Tat eine recht komplizierte Erscheinung sei. Diese Annahme kann kaum eine Hypothese genannt werden. Allerdings können wir unter gewöhnlichen Umständen die die primäre Empfindung begleitenden Nebenempfindungen nicht beobachten; wie wir aber im folgenden (S. 463) sehen werden, gelingt es unter günstigen Bedingungen recht leicht, obwohl in dieser Beziehung ausgesprochene individuelle Differenzen bestehen. Es liegt dann nahe, anzunehmen, daß diese Nebenempfindungen im individuell verschiedenen Grade immer vorhanden sind und nicht herabgesetzt oder gar aufgehoben werden können, ohne daß die primäre Empfindung an Stärke und Klarheit einbüßt. Hierdurch werden die angeführten Hemmungserscheinungen leicht verständlich.

Am einfachsten liegen die Verhältnisse bei den Schallversuchen. Das von der elektrischen Reizung erregte Prickeln ist so eng mit dem wohlbekannten Schnurren des Induktionsapparates verknüpft, daß man, wenn man das Prickeln empfindet, das Schnurren fast zu hören glaubt selbst in dem Falle, wo diese Möglichkeit völlig ausgeschlossen ist. Wenn aber die Gehörsphäre von der Tastsphäre aus erregt werden kann, ist die Hemmung einer gleichzeitigen Schallerregung leicht verständlich. Etwas komplizierter, aber eben deshalb um so erfolgreicher ist die gegenseitige Beeinflussung der Tast- und Gesichtsempfindungen. Die Wahrnehmung eines hellen Quadrates ist nicht ausschließlich eine Lichtempfindung bestimmter Stärke; die genaue Auffassung der Form ist von der Akkommodation des Auges abhängig, die durch Muskel-

bewegungen herbeigeführt wird. Andererseits ist mit den Tastempfindungen ein Gesichtsbild der gereizten Körperteile verbunden, und außerdem besteht eine gewisse Tendenz, nach diesen Körperteilen zu sehen, also gewisse Augenbewegungen auszuführen (Kap. 63). Die Hautempfindungen beeinflussen somit die Gesichtswahrnehmung sowohl in der optischen als in der motorischen Sphäre; die letztere Hemmung ist wohl besonders daran schuld, daß die Ränder des Gesichtsbildes unscharf werden.

Starke, besonders schmerzliche Empfindungen irgendwelcher Art sind fast immer mit unwillkürlichen Muskelbewegungen verbunden, und sie üben daher leicht eine hemmende Wirkung auf gleichzeitige willkürliche Bewegungen aus. Sehr leicht läßt sich dies nachweisen, wenn eine Versuchsperson z. B. ein Ergogramm in regelmäßigem Tempo ausführt; wirkt dann ein schmerzlicher Reiz in irgendeinem Moment ein, so sinkt die geleistete Arbeit, um wieder anzuwachsen, wenn der Schmerz aufhört[1]). Beispiele dieser Art sind übrigens im täglichen Leben nicht unbekannt.

Wenn so verschiedenartige Erregungen wie die hier erwähnten sich gegenseitig hemmen können, unterliegt es kaum einem Zweifel, daß eine Hemmung auch zwischen Empfindungen derselben Modalität stattfindet. Es wird aber meist unmöglich sein, die zentrale Hemmung von der gegenseitigen peripheren Störung zu trennen. Wenn man z. B. auf der Straße die Rede seines Begleiters wegen des Lärms der vorüberfahrenden Wagen kaum hören kann, rührt es zweifelsohne teils von zentralen Hemmungen der gleichzeitigen Erregungen, teils davon her, daß die Basilarmenbran in verschiedene sich gegenseitig störende Schwingungen versetzt wird. Da es aber unmöglich ist, in solchen Fällen die verschiedenen Faktoren auseinanderzuhalten, läßt sich der zentrale Teil der Störung auch nicht nachweisen.

Sechsundfünfzigstes Kapitel.

Bahnungen sukzessiver Erregungen.

Wir sahen schon oben (S. 127), wie die Untersuchung der Reflexhemmung zu dem Satze führte, daß eine Erregung, die eine andere hemmt, sie zugleich anbahnt, und später (S. 158)

[1]) Lehmann: Körperliche Äußerungen, 2. Teil, S. 286 u. f.

versuchten wir nachzuweisen, wie der Hemmungsvorgang eben eine Bahnung der gehemmten Erregung herbeiführen kann. Die einfache Folge hiervon ist, daß es oft nur von den zeitlichen Verhältnissen abhängig sein wird, ob eine Erregung eine andere hemmt oder anbahnt. Sind die beiden Erscheinungen gleichzeitig, hemmen sie sich; geht aber die eine der anderen voraus, bahnt die erstere die letztere an. Ein geschickter Experimentator kann diese Verhältnisse leicht demonstrieren. Läßt man eine Versuchsperson ein Ergogramm in regelmäßigem Tempo ausführen, und feuert man dann ganz unerwartet eine Pistole ab, wenn eine Hebung, eine Muskelkontraktion schon angefangen hat, so wird diese Hebung gehemmt, erreicht nicht die Höhe der vorhergenden oder der nachfolgenden. Fällt der Schuß dagegen kurz vor dem Anfang einer Kontraktion, werden meist die zwei oder drei folgenden Hebungen bedeutend vergrößert; die Muskelbewegungen werden also hier durch die vorhergehende Erregung angebahnt.

Wenn die sich beeinflussenden Erregungen verschiedener Art sind, muß der vorausgehende, bahnende Vorgang wohl immer, wie in dem erwähnten Beispiele, eine bedeutende Stärke haben, wenn die Bahnung des folgenden merklich werden soll. Sind die beiden Erscheinungen dagegen gleichartig, kann man sich leicht davon überzeugen, daß die zu zweit eintretende durch die erste gefördert, angebahnt worden ist. Am einfachsten läßt sich die Tatsache bei jeder schnell ausgeführten willkürlichen Bewegung beobachten. Eine solche Bewegung kann nicht plötzlich angehalten werden, ohne daß ein *Rückstoß* entsteht, d. h. es fügt sich eine zweite, der ersten geradeswegs entgegengesetzte Bewegung an. Bewegt man irgendein Glied, z. B. einen Finger, den Unterarm im Ellbogengelenk oder den ganzen Arm in der Schulter, sehr schnell und hält dann die Bewegung an, schnellt das Glied immer in der entgegengesetzten Richtung zurück. Die Erklärung dieser Erscheinung kann kaum zweifelhaft sein. Eine Muskelkontraktion ist, wie wir wissen (S. 127), immer von einer Erschlaffung der antagonistischen Muskeln begleitet, indem die von den betreffenden motorischen Zentren ausgehende konstante (latente) Innervation gehemmt wird. Durch die Hemmung einer Bewegung wird dieselbe aber zugleich angebahnt. Indem nun die ausgeführte Bewegung plötzlich angehalten wird, hört die Hemmung der entgegengesetzten

Bewegung auf; da diese Bewegung aber eben durch die Hemmung angebahnt worden ist, muss der Tonus der betreffenden Muskeln größer als normal werden, d. h. es tritt eine der ursprünglichen entgegengesetzte Bewegung ein [1]). Die Bahnung läßt sich also hier geradezu ad oculus demonstrieren.

Handelt es sich um die gegenseitige Beeinflussung zwei sukzessiver Erregungen desselben Sinnesorgans, läßt sich die Bahnung durch einen Vergleich der hervorgerufenen Empfindungen unschwer nachweisen. Wenn zwei Reize derselben Art und Stärke unter genau denselben Umständen einwirken, dann ist zu erwarten, daß sie dieselbe Empfindung erregen werden. Tatsächlich geschieht es aber nicht, wenn die beiden Reize kurz nacheinander folgen; die zweite Empfindung wird dann immer stärker als die erste. Es sei der zuerst einwirkende Normalreiz r, der zu zweit einwirkende, variable Reiz r_2; die von dem letzteren erregte Empfindung hat dann eine Stärke, als ob sie von dem Reiz $r_2 + u \cdot r^v$ erregt wäre. (S. 161). Gleichheit der Empfindungen wird nur erzielt, wenn $r = r_2 + u \cdot r^v$ (Gleich. 29) oder:

$$r(1 - u \cdot r^{v-1}) = r(1 - \varrho) = r_2, \text{ indem}$$

$$u \cdot r^{v-1} = \varrho = \frac{r - r_2}{r} \quad \ldots \ldots \ldots \text{(Gl. 54.)}$$

Die Werte u und v, die den Bahnungskoeffizienten ϱ bestimmen, sind von mehreren äußeren und inneren Umständen abhängig. Es wurde schon früher (S. 160) nachgewiesen, daß der Bahnungszuwachs $R_t = u \cdot r^v$ und mithin auch ϱ mit dem Intervalle zwischen den beiden Reizen variieren müssen. Die Messungen haben ferner gezeigt, daß ϱ mit wachsender Übung etwas wächst und wahrscheinlich bei niedrigerer Zimmertemperatur kleiner als bei höherer gefunden wird. Ferner ist ϱ individuell äußerst verschieden, weist auf verschiedenen Sinnesgebieten desselben Individuums recht große Differenzen auf und ist schließlich in hohem Grade von der Richtung der Aufmerksamkeit abhängig. Diese letztere Erscheinung, die für das Verständnis der Natur der Aufmerksamkeit von der größten Bedeutung ist, soll später (Kap. 60) eingehend erörtert werden; hier betrachten wir nur die übrigen Faktoren.

---

[1]) Isserlin: Über den Ablauf einfacher willkürlicher Bewegungen. Kraepelin, Psychol. Arbeiten, Bd. 6 S. 31 u. f. Sherrington: The integrativ action of the nervous system. London 1910, S. 200 u. f.

Die Abhängigkeit des ϱ vom Intervalle der sukzessiven Reize tritt leicht zutage, wenn man z. B. mit Momentanschallen konstanter Reizstärke arbeitet. Für jede beliebige Reizstärke erhält man, bei verschiedenen Intervallen, eine Reihe Werte des ϱ, die mit wachsendem Intervalle anfangs stark zunehmen, um dann wieder langsam bis auf Null abzunehmen. In Fig. 64 sind die Resultate einer solchen Reihe von Messungen graphisch dargestellt. Als Abszisse ist das Intervall der beiden Reize, in Sekunden angegeben, als Ordinate der für verschiedene Schallstärken gefundene Wert ϱ abgesetzt. Die Schalle wurden durch Stahlkugeln verschiedener Größe, die von verschiedener Höhe auf eine Zinkplatte herabfielen, hervorgerufen; auf die Einzelheiten der Versuche und der Bestimmung der Schallstärke können wir hier nicht näher eingehen [1].

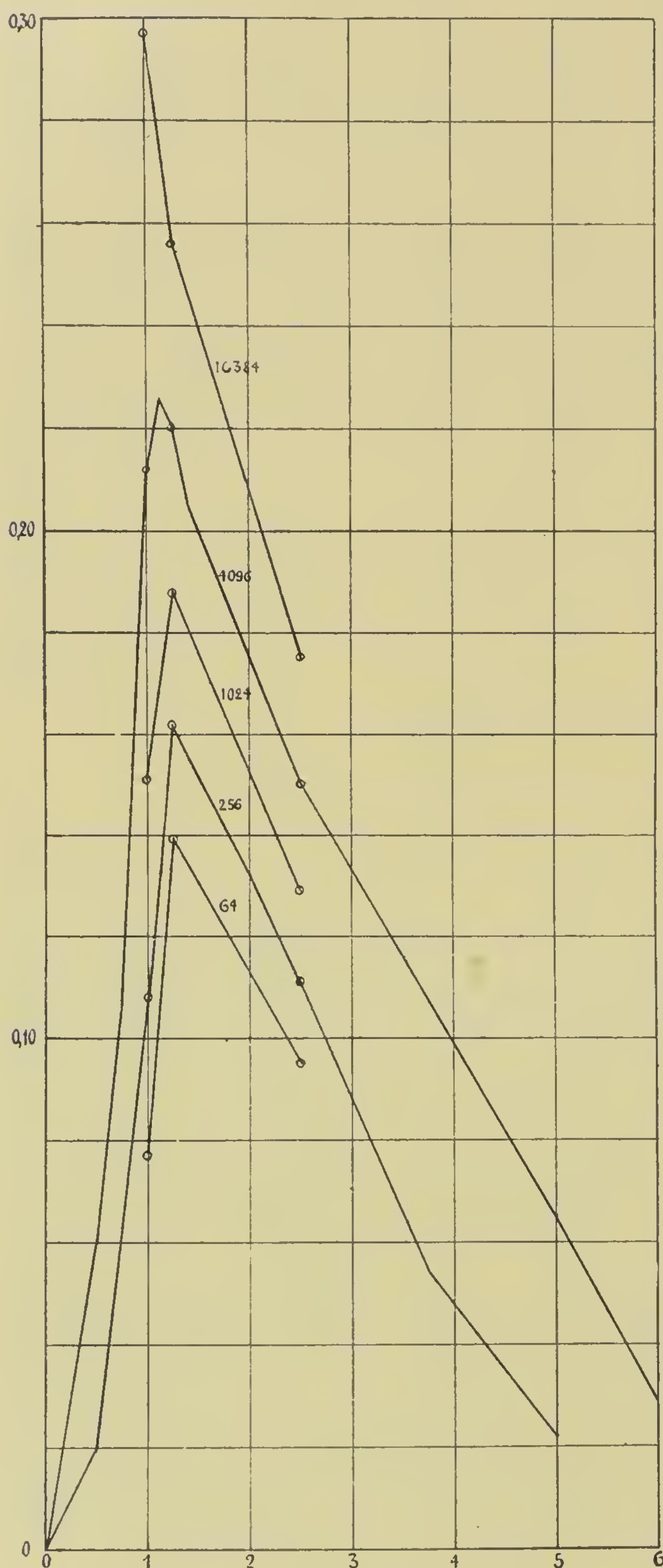


Fig. 64.

Bei konstantem Intervalle, aber verschiedener Reizstärke steht zu erwarten, daß ϱ laut der Gleich. 54 variieren wird. Mittels der eben erwähnten Messungen läßt sich die Gültigkeit der Gleichung: $\varrho = u \cdot r^{v-1}$ leicht prüfen, indem man für die bei konstantem Intervalle ausgeführten Messungen die wahr-

[1] Lehmann: Psychodynamik, S. 53 u. f.

scheinlichen Werte der Größen u und v berechnet. In Tab. 32 sind für die drei Intervalle 1,0 Sek., 1,25 Sek. und 2,5 Sek. die bei verschiedenen Reizstärken r gefundenen Werte des ϱ aufgeführt Die Bestimmung der wahrscheinlichen Werte des u und v ergibt:

für $t = 1{,}0$ Sek. $u = 0{,}0278$, $v = 1{,}244$, also $\varrho = 0{,}0278 \cdot r^{0{,}244}$
„ $t = 1{,}25$ „ $u = 0{,}0879$, $v = 1{,}11$ „ $\varrho = 0{,}0879 \cdot r^{0{,}11}$
„ $t = 2{,}5$ „ $u = 0{,}0603$, $v = 1{,}11$ „ $\varrho = 0{,}0603 \cdot r^{0{,}11}$

Tabelle 32.

r	$t = 1{,}0^s$			$t = 1{,}25^s$			$t = 2{,}5^s$		
	$\varrho_{1,0}$	ber. $\varrho_{1,0}$	f	$\varrho_{1,25}$	ber. $\varrho_{1,25}$	f	$\varrho_{2,5}$	ber. $\varrho_{2,5}$	f
64	0,069	0,077	— 0,008	0,138	0,139	— 0,001	0,099	0,095	+ 0,004
256	0,116	0,108	— 0,008	0,160	0,162	— 0,002	0,111	0,111	0,000
1 024	0,174	0,151	+ 0,023	0,192	0,188	+ 0,004	0,121	0,129	— 0,008
4 096	0,206	0,212	— 0,006	0,217	0,220	— 0,003	0,145	0,150	— 0,005
16 384	0,272	0,297	— 0,025	0,256	0,256	0,000	0,188	0,175	+ 0,013

In Tab. 32 sind die nach den angeführten drei Gleichungen berechneten Werte des ϱ sowie die Differenzen f zwischen den gefundenen und den berechneten Größen angegeben. Die Übereinstimmung ist, wie ersichtlich, fast vollständig.

Um die individuellen Schwankungen des ϱ zu untersuchen, wurde bei konstanter Reizstärke, $r = 256$, und konstantem Intervalle,

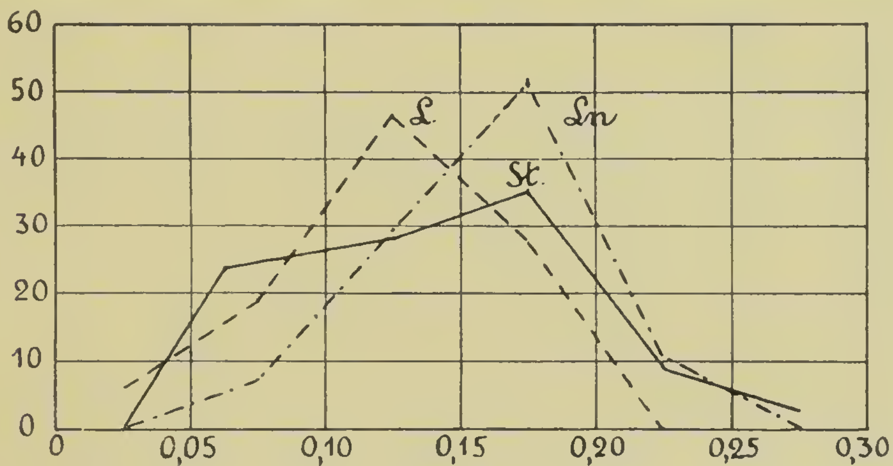


Fig. 65.

1,25 Sek., der dem r gleich erscheinende Wert r_2 von 118 Versuchspersonen nach der Konstanzmethode bestimmt. Nach der Gleich. 54 läßt sich hieraus ϱ berechnen. Es beteiligten sich an diesen Versuchen 32 Volksschullehrer und 27 Volksschullehrerinnen im Alter zwischen 30 und 60 Jahren, 40 männliche und 19 weibliche Studierende, 18–20 Jahre alt. Der Übersichtlichkeit wegen sind in der Fig. 65 die Streuungskurven der gefundenen Werte ϱ graphisch dargestellt, indem ϱ als Abszisse, die Häufigkeit der betreffenden Werte in Prozenten als Ordinate abgesetzt ist. Die Kurve L ist die der Lehrer, Ln die der Lehrerinnen und $St.$ die der Studierenden; da

sich kein wesentlicher Unterschied zwischen den Kurven der männlichen und der weiblichen Studierenden findet, sind die Häufigkeitswerte dieser beiden Gruppen zusammengerechnet. Merkwürdig ist dagegen der Unterschied zwischen den Lehrern und den Lehrerinnen, obschon diese Untersuchungen in demselben Lokal zu derselben Jahreszeit (1—30 Aug. 1907) angestellt wurden. In den 14 Tagen, wo die Lehrer arbeiteten, war es aber recht kalt (nur 13 ° C im Versuchszimmer, das sich nicht heizen ließ), so daß diese niedrige Temperatur wahrscheinlich die Werte ϱ herabgesetzt hat. Mit den Studierenden wurden die Versuche zwar im Winter (Februar und März 1908), aber bei konstanter Zimmertemperatur, 18 ° C, ausgeführt; die hier erhaltenen Werte ϱ stimmen denn auch im großen und ganzen mit denen der Lehrerinnen überein. Wahrscheinlich ist also ϱ von der mit der Lufttemperatur schwankenden Körpertemperatur abhängig.

Auf anderen Sinnesgebieten, z. B. auf dem der Gewichtsempfindungen, sind ganz analoge Verhältnisse nachzuweisen. Wie schon oben (S. 349) erwähnt, sind die Gewichtsempfindungen aber recht komplizierte Erscheinungen, von Druck-, Spannungs- und Gelenkempfindungen zusammengesetzt, und diese verschiedenen Empfindungen spielen, je nach der Hebungsweise, eine verschiedene Rolle. Es sind besonders die Gelenkempfindungen, die beim Vergleich der gehobenen Gewichte störend sind, weil sie bei dem zuerst gehobenen Gewicht stärker als bei dem zuzweit gehobenen mitwirken. Dies rührt davon her, daß die Innervation der Muskeln, wodurch die Geschwindigkeit der Hebung und dadurch wieder die Gelenkempfindungen bestimmt sind, dem zuerst gehobenen Gewichte nicht so genau angepaßt sein kann als dem zu zweit gehobenen. Die erste Hebung dient nämlich der folgenden als Einstellung der motorischen Innervation (vgl. S. 350), und hieraus resultieren dann mehr oder weniger verschiedene Gelenkempfindungen und mithin eine verschiedene Auffassung der aufeinander folgenden Gewichte. Man kann aber diesen Unterschied der Auffassung dadurch beseitigen, daß man vor den eigentlichen Vergleichshebungen ein paar „Einstellungshebungen“ ausführt. Man hebt z. B. das konstante Normalgewicht r dreimal, indem eine Pause von 4 bis 6 Sek. zwischen den einzelnen Hebungen gemacht wird, und 1 Sek. nach der letzten Hebung schließlich das Vergleichsgewicht r_2. Werden sämtliche Hebungen ohne Ruck und so langsam ausgeführt, daß das Heben und das Senken je 1 Sek. dauert, so können auf diese Weise die Gelenkempfindungen ausgeschaltet werden. Ganz dasselbe Resultat kann man erreichen, wenn

man sich darauf einübt, während der Hebung nur die Spannungsempfindungen zu berücksichtigen; man braucht dann gar keine Einstellungshebungen auszuführen, und die übereinstimmenden Ergebnisse der beiden Methoden beweisen, daß die Hubgeschwindigkeit und damit die Gelenkempfindungen unter diesen Umständen keinen Einfluß ausüben. Die Bahnung der sukzessiven Empfindungen tritt dann auch genau wie bei den Schallempfindungen hervor.

Tabelle 33.

r	r_2	ϱ	r_2 *ber.*	f	r'_2
150					165
250	246	0,038	241	+ 5	269
500	476	0,046	477	— 1	510
750	691	0,052	711	— 20	730
1155	1085	0,059	1087	— 2	1140
1500	1398	0,064	1404	— 6	1450
2000	1841	0,070	1860	— 19	1897
3500	3181	0,083	3209	— 28	3235
5000	4535	0,092	4540	— 5	4660

Der Gleich. 29 zufolge ist $r_2 = r - u \cdot r^v$; r_2 muß also stets kleiner als das zuerst gehobene Gewicht r gefunden werden, wenn nur die Bahnung der sukzessiven Hebungen die Vergleichung beeinflußt. Unter den hier erwähnten Umständen ist dies tatsächlich auch der Fall, was aus Tab. 33 hervorgeht, wo unter r das zuerst gehobene Normalgewicht, unter r_2 das dem ersteren gleich geschätzte Vergleichsgewicht in Gramm angegeben ist. Aus den gemessenen Größen lassen sich die Werte u und v berechnen, und man findet dann $\varrho = 0{,}00716 \cdot r^{0{,}3}$; die hieraus berechneten Werte ϱ sind ebenfalls in Tab. 33 angegeben und, wie ersichtlich, etwas kleiner als diejenigen der Schallempfindungen. Wie genau die vorliegenden Messungen mit der Gleich. 29 übereinstimmen, läßt sich am einfachsten auf die Weise prüfen, daß die gefundenen wahrscheinlichen Werte des u und des v in die Gleichung eingesetzt werden, wonach man r_2 berechnen kann. Unter „r_2 *ber.*" sind in der Tab. 33 diese Größen wiedergegeben; die Differenzen f zwischen den gefundenen und den berechneten Werten r_2 sind belanglos.

So wie hier erwähnt, stellt sich die Sache nur, wenn der Einfluß der Hubgeschwindigkeit auf die eine oder die andere Weise ausgeschaltet wird; wenn sie aber bei der Vergleichung

mitwirkt, werden die Verhältnisse komplizierter. Da die erste Hebung der zweiten als Einstellung dient, leidet gewöhnlich nur die erstere durch die fehlende Einstellung. Zu gering kann die Muskelinnervation nicht werden, weil das Gewicht dann gar nicht in die Höhe geht; entweder entspricht also die Innervation dem zu hebenden Gewichte, oder sie wird zu groß. Im letzteren Falle, der weitaus am häufigsten eintreten wird, geht das Gewicht zu schnell in die Höhe, und da die tatsächlich geleistete Muskelarbeit daher größer ist, als sie sein sollte, werden die Spannungsempfindungen zu stark, und das Gewicht wird überschätzt. Wenn aber das zuerst gehobene Normalgewicht r so aufgefaßt wird, als ob es die Größe r' hätte, wo $r' > r$ ist, muß dem zweiten Gewicht r_2 die Größe r'_2 gegeben werden, damit $r'_2 = r' - u \cdot (r')^{\nu}$. Die unter diesen Umständen gefundenen Werte r'_2 sind in Tab. 33 angegeben und, wie ersichtlich, bedeutend größer als r_2; außerdem ist $r'_2 > r$ für die kleineren Werte des r. Es besteht hier ein sogenannter *positiver Zeitfehler*, wodurch die Bahnung dem Anschein nach völlig aufgehoben wird.

Diese Sonderbarkeit, daß der positive Zeitfehler nur bei den kleineren Werten des r vorkommt, ist eine einfache Folge davon, daß die Stärke der Gewichtsempfindungen sowohl von der verschiedenen Innervation bei den sukzessiven Hebungen als von der Bahnung beeinflußt wird. Wegen des Innervationsunterschiedes wird das zuerst gehobene Normalgewicht r, wie wir sahen, überschätzt. Nehmen wir der Einfachheit halber an, daß $r' = \gamma \cdot r$; wo $\gamma > 1$. Wir haben dann:

$$r'_2 = \gamma \cdot (1 - u \cdot (\gamma \cdot r)^{\nu - 1}) \cdot r.$$

Nun ist die Größe $1 - u \cdot (\gamma \cdot r)^{\nu - 1} < 1$, und nimmt selbstverständlich mit wachsenden Werten des r fortwährend ab. Dagegen ist $\gamma > 1$; solange also $\gamma \cdot (1 - u \cdot (\gamma \cdot r)^{\nu - 1}) > 1$, wird mithin $r'_2 > r$, wenn aber $\gamma \cdot (1 - u \cdot (\gamma \cdot r)^{\nu - 1}) < 1$, wird $r'_2 < r$. So einfach, wie ich das Verhältnis hier dargestellt habe, ist es allerdings nicht[1]); in der Hauptsache trifft die gegebene Erklärung aber tatsächlich zu:

Der positive Zeitfehler, der bei Gewichtsvergleichungen unter bestimmten Umständen hervortritt, rührt davon her, daß das zuerst gehobene Gewicht wegen ungenauer Innervation der Muskeln überschätzt wird, weshalb das zu zweit gehobene Gewicht relativ zu

---

[1]) Lehmann: Psychodynamik der Gewichtsempfindungen. Archiv für Psych., Bd. 6, S. 443 u. f.

groß ausfällt. Da die Bahnung aber mit wachsenden Werten des Normalgewichtes zunimmt, überwiegt sie schließlich die Überschätzung des Normalgewichtes, und der positive Zeitfehler der kleineren Gewichte geht daher bei den größeren in einen negativen über.

Die Bahnungskonstanten u und v sind bei den Gewichtsempfindungen für drei verschiedene Vp. bestimmt, die recht übereinstimmende Werte ergeben haben[1]). Diese Größen und mithin auch ϱ weichen also bei Schall- und Gewichtsempfindungen nur wenig voneinander ab. In theoretischer Beziehung ist es von nicht geringem Interesse, daß die Werte des v stets (vgl. jedoch S. 426) zwischen 1,1 und 1,3 liegen, weil diese Tatsache der in Gleich. 28 formulierten Hypothese widerspricht. Wir sind nämlich davon ausgegangen, daß der Bahnungszuwachs N_t der Erregung E proportional anwachse: $N_t = v \cdot E$. (Gleich. 28). Da N_t unmöglich größer als E sein kann, weil dann jede folgende Erregung überflüssig wäre, muß mithin $v \leqq 1$ sein. Unter dieser Vorausetzung ist die Betrachtung, wodurch wir $r - r_2 = u \cdot r^v$ finden (S. 161), völlig berechtigt. Tatsächlich finden wir überall, daß die Gleichung zutrifft, aber nur indem $v > 1$. Der Widerspruch läßt sich auf die folgende Weise leicht lösen. Da v der Definition (Gleich. 28) zufolge ein positiver echter Bruch sein muß, so ist $1 - v$ ebenfalls ein solcher Bruch. Nun wächst $\varrho = \frac{r - r_2}{r}$ erfahrungsmäßig mit wachsenden Werten des r. Setzen wir also $r - r_2 = u \cdot r^v$, so wird:

$$\varrho = \frac{u \cdot r^v}{r} = u \cdot r^{v-1} = \frac{u}{r^{1-v}}.$$

Dieser Bruch nimmt mit wachsenden Werten des r ab; da ϱ aber tatsächlich wächst, kann v keine Konstante sein. Nur wenn v selbst mit wachsenden Werten des r wächst, kann $\frac{u}{r^{1-v}}$ wachsen. Wir kommen somit zu dem Resultat, daß unsere Voraussetzung falsch war; *der Bahnungszuwachs wächst nicht der Erregung proportional, sondern in etwas stärkerem Verhältnis.* Hieraus folgt dann ferner, daß die aus den Messungen abgeleiteten Werte u und v, die empirischen Bahnungkonstanten, die oben, S. 161, angegebenen Bedeutungen nicht haben können, weil die daselbst eingeführten Größen u und v faktisch Variable sind. Die ganze theoretische, auf einer unrichtigen Voraussetzung beruhende Entwicklung hat aber die Bedeutung, daß sie einerseits uns zu der praktisch richtigen Formel, der Gleich. 29, geführt hat, und andererseits, indem die Unrichtigkeit der Voraussetzung aufgedeckt wird, unsere Einsicht in die Bahnungsvorgänge erweitert.

Die Bahnung ist, wie wir gesehen haben, eine von der Intensität der Erregungen abhängige Erscheinung, und es ist daher durchaus unwahrscheinlich, daß eine Bahnung zwischen extensiven Größen, wie z. B. Zeit- und Raumstrecken, statt-

[1]) Psychodynamik der Gewichtsempfindungen, S. 437, 438 u. 474.

finden könne. Wo wir, beim Vergleich solcher Größen, ähnliche Verhältnisse finden wie die hier als Bahnungserscheinungen erklärten, handelt es sich daher aller Wahrscheinlichkeit nach um ganz andere Ursachen, die nur analoge Wirkungen haben.

III. Die Wirkung wiederholter Bahnungen.

Siebenundfünfzigstes Kapitel.

Assoziation und Reproduktion im allgemeinen.

Die Assoziation. Die tägliche Erfahrung lehrt, daß Bewußtseinszustände entstehen können, ohne direkt durch äußere Reize erregt zu werden. Es kann z. B. eine Wahrnehmung *A* gegeben sein, an die sich irgend eine Bewußtseinserscheinung *B* anschließt, obwohl in dem Momente keine äußere Ursache der letzteren nachzuweisen ist. Man sagt dann, daß die Erscheinung *B* von der vorausgehenden *A reproduziert* worden ist. Die von einem gegebenen Zustand reproduzierten Bewußtseinserscheinungen können, je nach den Umständen, äußerst verschiedener Art sein. Der Anblick eines Pferdes, das in einem Tor eben zum Vorschein kommt, kann z. B. die Vorstellung eines Wagens erwecken: ich erwarte, im nächsten Augenblick einen Wagen zu sehen. Oder ich sehe das Pferd, und der Name dieser besonderen Art Pferde fällt mir ein. Oder ich denke beim Anblick des Pferdes daran, wie ich einmal als Knabe unter ähnlichen Umständen überfahren und im letzten Augenblick herausgezogen wurde; dieser Gedanke ist von einem Anflug einer Gemütsbewegung begleitet. Es kann aber auch vorkommen, daß das Pferd den Gedanken an eine augenblickliche Gefahr erweckt, und dann werden Muskelbewegungen ausgelöst, z. B. ein Sprung gemacht, noch bevor dieser Gedanke völlig abgelaufen ist.

Wie in dem hier betrachteten Falle geht es in allen anderen: irgendeine Wahrnehmung kann Zustände ganz verschiedener Art reproduzieren. Es kann keinem Zweifel unterliegen, daß der eben reproduzierte Zustand durch die vorliegenden äußeren und inneren Umstände völlig bestimmt ist; diese Umstände sind aber immer sehr zahlreich und meistens ganz unbekannt, so daß es unmöglich wird, in einem gegebenen Falle nachzuweisen, warum eben dieser und nicht jeder beliebige andere Zustand reproduziert wurde. Die äußeren Be-

dingungen sind zwar den Hauptzügen nach bekannt, und ihre Bedeutung läßt sich einigermaßen abschätzen; so macht man z. B. keinen Sprung, wenn die Entfernung vom Pferde so groß ist, daß man gemächlich vorübergehen kann. Die inneren Bedingungen dagegen, die, wie wir sehen werden, durch die ganze vorhergehende Entwicklung des Individuums bestimmt sind, müssen ganz unberechenbar sein. Nur in Ausnahmefällen läßt sich aus einer größeren Anzahl reproduzierter Zustände folgern, daß gewisse individuelle innere Bedingungen konstant mitgewirkt haben. Zur vollständigen Determination des jeweilig reproduzierten Zustandes reichen aber auch selten die solchermaßen nachgewiesenen Bedingungen aus; das entwickelte menschliche Bewußtsein ist zu kompliziert. Schon die allgemeinen Bedingungen der Reproduktion sind so mannigfaltig, daß wir sie nicht an einer Stelle behandeln können; wir werden sie nach und nach im folgenden kennen lernen.

Als erste, unbedingt notwendige Voraussetzung der Reproduktion eines Zustandes durch einen anderen wird die Verknüpfung, die *Assoziation* der beiden Zustände, angenommen. Der Assoziationsvorgang läßt sich indes nicht beobachten; ob zwei Zustände sich assoziiert haben, kann man nur daran erkennen, daß der eine den anderen reproduzieren kann. Die Reproduktion ist mithin unser einziges Merkmal der Assoziation; wo eine Reproduktion stattfindet, muß notwendig eine Assoziation vorhanden sein, und die beiden Worte werden daher oft fast als synonym angewandt. In theoretischer Beziehung hat diese ungenaue Terminologie die größte Konfusion angerichtet. Die Ursachen oder Bedingungen der Reproduktion brauchen nämlich durchaus nicht auch die der Assoziation zu sein. Wenn man aber eine Bedingung der Reproduktion festgestellt hat und nun, beim nachlässigen Sprachgebrauch, Assoziation statt Reproduktion setzt, so erschleicht man sich ein Resultat, das man gar nicht dargetan hat. Die meisten Streitigkeiten über Assoziationsursachen und Reproduktionsformen sind aus dieser ungenauen Terminologie hervorgegangen, und wir werden daher im folgenden die beiden Termini sorgfältig auseinanderhalten.

Darüber besteht jedenfalls kein Zweifel, *daß zwei Zustände sich assoziieren, wenn sie mehr oder weniger häufig, gleichzeitig oder unmittelbar nacheinander im Bewußtsein vorkommen.* Ob es außer diesem Nebeneinander der beiden Zustände noch

andere Assoziationsursachen gibt, kann bis auf weiteres dahingestellt bleiben; vorläufig betrachten wir nur diese Ursache etwas näher.

Wie oft die beiden Zustände sich wiederholen müssen, um sich zu assoziieren, ist von verschiedenen inneren und äußeren Umständen abhängig. Ist der eine Zustand z. B. stark gefühlsbetont, reicht oft ein einziges Erlebnis aus; das Kind braucht nicht häufig überfahren oder verbrannt zu werden, um zu lernen, daß ein laufendes Pferd oder ein heißer Ofen recht unangenehme Empfindungen herbeiführen können. Ebenfalls kann die Anzahl der Wiederholungen durch eine willkürliche Lenkung der Aufmerksamkeit auf die beiden Zustände stark beschränkt werden; dann liegt indes keine einfache Assoziation, sondern eine willkürliche Verknüpfung vor, wovon später die Rede sein wird (Kap. 68): Sehen wir aber von solchen Fällen ab, wird die Zahl der Wiederholungen wohl zunächst davon abhängig, ob die Zustände ausnahmslos oder nur gelegentlich gleichzeitig gegeben sind. Das kleine Kind lernt schnell, daß jedes Ding, das es aus den Händen losläßt, zu Boden fällt, weil dieses Ereignis ohne Ausnahme eintrifft. Wenn aber Pferde bald vor einem Wagen und bald ohne Wagen gesehen werden, muß die erstere Wahrnehmung zweifellos recht häufig wiederholt werden, damit sich eine Assoziation zwischen Pferd und Wagen bilden kann. Nun wechseln gewöhnlich die Zustände der Dinge, so daß es selten vorkommt, daß zwei Ereignisse ausnahmslos miteinander auftreten. Die meisten unserer unwillkürlich sich bildenden Assoziationen erfordern daher gewiß eine größere Anzahl Wiederholungen, um überhaupt zustande zu kommen.

In theoretischer Beziehung ist dieser Umstand, daß die Zustände meistens mehrmals wiederholt werden müssen, um sich zu assoziieren, von der größten Bedeutung. Wenn eine bestimmte Wahrnehmung wiederholt wird, ist sie nämlich selten oder nie mit der früheren identisch. Man sieht auf der Straße viele verschiedene Pferde *A*, die vor verschiedenen Wagen *B* gespannt sind; obwohl also weder die Pferde noch die Wagen miteinander identisch sind, assoziieren sich dennoch Pferd und Wagen so, daß die Wahrnehmung eines beliebigen Pferdes die Vorstellung eines Wagens hervorrufen kann. Auf anderen Gebieten, wo ebenfalls Wiederholungen notwendig sind, sind die Verhältnisse durchaus analog. Wenn das Kind sprechen lernt, sind weder die mit demselben Namen

bezeichneten Dinge noch die von verschiedenen Stimmen genannten Worte identisch, und dennoch verknüpfen sich die Worte mit je einem bestimmten Ding. Der obige Satz, daß zwei Zustände sich assoziieren, wenn sie genügend oft gleichzeitig im Bewußtsein sind, ist also zu eng gefaßt, indem es gar nicht nötig ist, daß genau dieselben Zustände sich wiederholen. *Zwei Zustände, A und B, assoziieren sich also nicht nur, wenn sie genügend oft gleichzeitig oder unmittelbar nacheinander im Bewußtsein sind, sondern auch wenn die mehr oder weniger gleichartigen Zustände* A_1, A_2, A_3, ... *je mit einem der ebenfalls einander ähnlichen Zustände* B_1, B_2, B_3, ... *gleichzeitig gegeben sind.* Die Gültigkeit von diesem *Gesetze der gegenseitigen Vertretung gleichartiger Zustände*[1]) tritt bei allen Assoziationen zutage und wird tatsächlich von allen Psychologen stillschweigend vorausgesetzt. Der Erfolg dieser Vertretung ähnlicher Zustände wird, daß ein beliebiger der Zustände *A* irgendeinen Zustand *B* reproduzieren kann; von der Natur dieses *B* wird im folgenden die Rede sein.

Es ist übrigens eine sehr umstrittene Frage, ob eine Assoziation durch Gleichzeitigkeit oder durch Aufeinanderfolge der Zustände entstehe[2]). Beide Ansichten können sich auf zweifellos richtige Beobachtungen stützen. Einerseits ist es durch Versuche, die erst später (Kap. 68) erörtert werden können, dargetan, daß ein bestimmtes Intervall zwischen den zu assoziierenden Zuständen der Assoziationsbildung am günstigsten ist. Andererseits zeigt indes die Selbstbeobachtung, daß die Assoziation der sukzessiv erregten Zustände um so leichter zustande kommt, je besser es gelingt, die sukzessiven Zustände gleichzeitig im Bewußtsein festzuhalten, was sich durch eine besondere Konzentration der Aufmerksamkeit erreichen läßt. Diese beiden Beobachtungen widersprechen sich indes gar nicht, sie zeigen nur, daß die zu assoziierenden Zustände erstens je eine kurze Zeit im Bewußtsein so weit möglich alleinherrschend sein und zweitens nach dem Aufhören der Reizung möglichst lange nebeneinander fortdauern müssen. *Das gleichzeitige Bestehen der sukzessiv erregten Vorgänge wird somit die möglichst günstige Bedingung der Assoziation.* Dies Ergebnis kann man kurz so ausdrücken: *Zustände assoziieren sich, wenn sie im Bewußtsein eine Einheit werden*, und die

---

[1]) Külpe: Grundriß der Psychologie, Leipzig 1893, S. 202.

[2]) Claparède: L'association des idées, Paris 1903, S. 42 u. f.

so gebildeten Assoziationen können wir als *Einheitsassoziationen* bezeichnen. Dieser Name entspricht ungefähr dem gewöhnlicheren Ausdruck der *Erfahrungsassoziation*, ist aber etwas umfassenderer, indem er nicht nur die zusammen erlebten, sondern auch die willkürlich zusammengestellten und dadurch assoziierten Zustände einschließt.

Theorie der Assoziation. Der Assoziationsvorgang, der sich vom rein psychologischen Gesichtspunkte aus nur als Tatsache feststellen, nicht aber erklären läßt[1]), ist psychophysiologisch unschwer verständlich. Es wurde schon oben (S. 162) nachgewiesen, wie die Bahnung eines Hirnvorganges durch einen anderen vorhergehenden eine größere Fahrbarkeit der Leitungsbahnen zwischen den betreffenden Neuronen herbeiführen wird. Durch Wiederholung genau derselben Vorgänge wächst dann einerseits die Fahrbarkeit der die Neuronengruppen verbindenden Leitungsbahnen und werden andererseits die Vorgänge immer leichter hervorgerufen. Es kann dann schließlich ein solcher Zustand der Neuronengruppen erreicht werden, daß der eine Vorgang, wenn er durch einen äußeren Reiz erregt wird, den anderen auszulösen vermag. Die Assoziation beruht also hiernach einfach auf einer Einübung bestimmter Hirnvorgänge, wodurch die Möglichkeit erreicht wird, daß der eine vom anderen hervorgerufen werden kann, und wenn diese Vorgänge von Bewußtseinserscheinungen begleitet sind, so zeigt uns die Selbstbeobachtung die Reproduktion eines Zustandes durch einen anderen.

Bei dieser Erklärung ist allerdings vorausgesetzt worden, daß die durch äußere Reizungen erregten Nervenvorgänge immer dieselben wären. Wenn aber nicht identische, sondern nur gleichartige Reize sich wiederholen, scheint der Erfolg in allem wesentlichen der nämliche werden zu müssen. Gleichartige Dinge, die wir als sich ähnlich auffassen, müssen immerhin Nervenvorgänge erregen, die zwar Unterschiede aufweisen, aber je nach dem Ähnlichkeitsgrad in mehr oder weniger zahlreichen Hauptzügen übereinstimmen. Gewisse Neurone werden also wahrscheinlich von den gleichartigen Reizen stets in bestimmte Bewegungen versetzt, während andere Neurone bald unerregt bleiben, und bald in diese, bald in jene Bewegung geraten. Es werden mithin in diesem Falle nur eine relativ kleine Neuronengruppe und eine geringere Anzahl

---

[1]) Claparède, a. a. O. S. 7.

Nervenbahnen ihre höchste Leistungsfähigkeit erreichen, während zahlreiche andere Neurone und Bahnen, weil sie weniger häufiger erregt, auch weniger leicht tätig werden. Eine Assoziation zwischen den beiden Gruppen gleichartiger Vorgänge *A* und *B* kommt aber jedenfalls zustande, so daß ein beliebiger, durch äußere Reizung erregter Vorgang *A* einen Zustand *B* auslösen kann; nur muß es hier von zahlreichen Nebenumständen abhängig sein, welcher der vielen möglichen Zustände *B* im gegebenen Falle reproduziert wird.

Nach der Bahnungstheorie wird es ferner leicht verständlich, warum es für die Assoziationsbildung besonders vorteilhaft ist, wenn die zu assoziierenden Zustände sukzessiv erregt werden und dann, nach dem Aufhören der Reizung, noch möglichst lange gleichzeitig fortdauern. Eine merkliche Bahnung findet nämlich nur zwischen sukzessiv erregten Zuständen statt, und das Intervall der aufeinander folgenden Reize darf weder zu kurz noch zu lang sein (S. 160), weil im ersteren Falle die Hemmung überwiegt, und im letzteren dagegen die Vorgänge zu viel an Stärke abgenommen haben, um sich merklich zu beeinflussen. Das gleichzeitige Fortdauern der Vorgänge nach dem Aufhören der Reizung, oder mit anderen Worten das langsame Abklingen der einzelnen Vorgänge, wird aber deshalb von Bedeutung, weil die noch abklingenden Vorgänge beim Aufhören jeder der sukzessiven Reize wieder durch die Bahnung verstärkt werden können, wodurch ihre gegenseitige Beeinflussung sich noch eine Weile fortsetzt. Die Theorie kann somit die umstrittene Frage von den zeitlichen Verhältnissen der zu assoziierenden Zustände mit der Erfahrung übereinstimmend beantworten.

Die Reproduktionsformen. Die meisten unwillkürlich entstehenden Assoziationen des täglichen Lebens werden gewiß zwischen nur gleichartigen, von Fall zu Fall variierenden Zuständen gebildet; sind ausnahmsweise die Dinge konstant (dasselbe Pferd vor dem nämlichen Wagen), so verändert sich doch unvermeidlich die Stellung des Beobachters und das beobachtende Bewußtsein selbst. Werden unsere Assoziationen aber zwischen so variablen Zuständen gebildet, ist es durchaus nicht im voraus eindeutig bestimmt, was von einer gegebenen Wahrnehmung reproduziert werden kann. Es sind daher zahlreiche Versuche angestellt, um die tatsächlichen Reproduktionen gegebener Zustände zu bestimmen. Diese sogenannten „Assoziationsversuche", die natürlich Reproduk-

tionsversuche sind, wurden meist auf eine recht unzweckmäßige Weise ausgeführt, indem den Versuchspersonen Worte zugerufen wurden mit der Aufforderung, sie möglichst schnell mit einem Worte zu beantworten; hierbei setzte man dann voraus, daß diese Antwort dem reproduzierten Zustand entsprechen würde. Stellt man aber die Versuche mit Personen an, die im Selbstbeobachten geübt sind, und fordert man sie nur auf, den reproduzierten Zustand möglichst genau darzustellen, so zeigt sich derselbe meistens zu kompliziert, um mit einem Worte ausgedrückt werden zu können. Was reproduziert wird, ist übrigens individuell und je nach den äußeren und inneren Umständen so verschieden, daß sich kaum allgemeine Sätze aufstellen lassen[1]). Die folgenden Fälle können aber als die häufiger vorkommenden festgestellt werden:

Der Charakter und der Verlauf der reproduzierten Zustände sind in hohem Grade davon abhängig, ob das Reizwort gelesen oder gehört wird.

Im ersteren Falle ist bei mehreren Individuen die erste Reproduktion eine rein motorische: es entstehen deutliche Sprechbewegungen. Die Reproduktion geht dann häufig auf motorischem Gebiete weiter, d. h. das Wort wird ergänzt, indem eine oder mehrere Silben an die gegebenen angereiht werden (Lieb — enswürdigkeit). Diese Reproduktionsform ist besonders häufig, wenn der Instruktion zufolge ein reproduziertes Wort ausgesprochen werden soll. Redensarten und ähnliche geläufige Wortverbindungen, sprachliche Reminiszenzen u. dgl. kommen ebenfalls vor, Klangähnlichkeiten (Reime) dagegen bei normalen, einigermaßen intelligenten Versuchspersonen fast nie. Neben und gleichzeitig mit den erwähnten motorischen Reproduktionen treten häufig Zustände ganz anderer Art, (Gesichtsbilder usw.) auf, die das Interesse der Versuchsperson in Anspruch nehmen und in keiner Beziehung zur gleichzeitigen motorischen Reproduktion stehen. Das von der Versuchsperson ausgesprochene Wort kann daher manchmal diese selbst überraschen.

Im zweiten Falle, wenn das Reizwort der mit geschlossenen Augen dasitzenden Versuchsperson zugerufen wird, ist der Verlauf der reproduzierten Zustände freier, ihre Mannigfaltigkeit und Lebhaftigkeit größer, weil keine äußeren Eindrücke

[1]) Cordes: Exper. Untersuch. über Assoziationen. Phil. Stud. Bd. 17, S. 30 u. f. Krarup: Om Associationsundersögelser. Bibliothek for Läger, 1907.

stören. Ein Nachsprechen des Wortes findet dann selten statt; bei vielen Versuchspersonen stellt sich konstant, wenn das Wort überhaupt etwas Konkretes (Ding, Eigenschaft, Tätigkeit) bezeichnet, ein Gesichtsbild ein, worin das betreffende Verhältnis eine wesentliche Rolle spielt.

Im Versuchsprotokolle Krarups findet sich eine große Anzahl solcher Reproduktionen, von denen hier einige typische Beispiele angeführt werden:

Bär — Oben im Gudbrandstal; Landstraße, rechts ein Wald, wo ein tiefes Brummen gehört wird. (Vor zwanzig Jahren erlebt.)

reiten — Ecke der F-Straße und der L-Straße; mehrere reitende Herren und Damen. (Wenige Stunden vorher gesehen).

blau — Endstation der elektrischen Bahn in Kl. Das Meer und der Himmel sind blau; äußerst anmutiger Anblick. (Vorgestern gesehen.)

Wenn die Reizworte abstrakte Verhältnisse bezeichnen, die sich nicht anschauen lassen, stellt sich bei den Individuen, die leicht Gesichtsbilder reproduzieren, oft ein Gesichtsbild des geschriebenen oder gedruckten Wortes ein.

Außer den Gesichtsbildern kommen gelegentlich Empfindungen anderer Sinnesgebiete, z. B. Gehörs- und Geschmacksempfindungen, vor.

Bei einer relativ geringen Anzahl Personen fehlen die reproduzierten Sinnesbilder fast völlig oder sind jedenfalls so vagen Charakters, daß sie kaum näher zu bestimmen sind. Reproduktionen, die sich überhaupt angeben lassen, treten dann fast immer in sprachlicher Form, als mehr oder weniger deutliche Wortklangbilder mit leisen Sprechbewegungen verbunden, hervor. Zuweilen sind auch die sinnlichen Momente der Worte so unbestimmt, daß der reproduzierte Zustand nur als ein „Gedanke" (Bewußtheit, vgl. S. 472) bezeichnet wird.

So viel geht jedenfalls aus diesen Ergebnissen der genaueren Reproduktionsbestimmungen hervor, daß die gewöhnlichen „Assoziationsversuche", die nur die möglichst schnell reproduzierten Worte berücksichtigen, recht zweifelhaften Wertes sind. Und man wird sich gewiß arg täuschen können, wenn man, wie einige Psychiater es in neuester Zeit versucht haben, auf Grundlage 100 reproduzierter Worte den geistigen Zustand des betreffenden Individuums charakterisieren will[1]. Zu diesem Zwecke klassifiziert man die erhaltenen

[1]) Jung: Diagnostische Assoziationsstudien. Journal für Psych. und Neurologie. Bd. 3.

Reproduktionen nach den Beziehungen, in welchen die Reaktionsworte zu den Reizworten stehen, und bestimmt den geistigen Zustand nach der Anzahl Reproduktionen, die in jede Klasse fallen. Die Reaktionsworte stehen aber, wie oben hervorgehoben, oft in gar keiner Verbindung mit den wesentlichen Reproduktionen des Individuums, die bei dem gewöhnlichen Verfahren der „Assoziationsversuche“ gar nicht berücksichtigt werden können. Es ist aber ein recht sonderbares Unternehmen, den geistigen Zustand einer Person nur nach den oberflächlichsten, geläufigsten Assoziationen des Alltagslebens, nach den Wortergänzungen und den sprachlichen Reminiszenzen zu bestimmen. Ferner ist es einfach unmöglich, die bei den Versuchen erhaltenen Reaktionen zu klassifizieren. „Gar oft ist nämlich die assoziative Beziehung zwischen einem Reiz- und Reaktionsworte eine vieldeutige. So kann sie bei Land—Meer liegen im Gegensatz oder in der räumlichen Koexistenz oder in der sprachlichen Geläufigkeit oder in der Koordination (beides Erdteile) oder in der Vereinigung mehrerer dieser Beziehungen“ [1]). Wreschner meint aber, daß die Selbstbeobachtung der Versuchsperson darüber entscheiden kann, welche dieser verschiedenen Beziehungen in jedem gegebenen Falle vorliegt. Ich halte es dagegen für durchaus unmöglich, die Entstehung geläufiger Assoziationen nachzuspüren, die schon in der frühesten Jugend gebildet sein können; und die Einordnung gegebener Reproduktionen in die Klassen eines „Assoziationsschemas“ wird daher in den meisten Fällen eine ganz willkürliche.

Gehen wir auf einen einzigen Fall etwas näher ein. Jung nennt als Beispiel einer Assoziation durch äußere Koexistenz: Tinte—Feder, dagegen als Assoziation durch innere Koordination: Kirsche—Äpfel, indem diese beiden Worte dem Oberbegriff Obst subsummiert sind [2]). Da aber Kirsch- und Apfelbäume in den Gärten durcheinander stehen, die Früchte in den Läden nebeneinander liegen, kann diese Assoziation ebensogut durch räumliche Koexistenz entstanden sein. Umgekehrt sind die Worte Tinte—Feder zweifelsohne dem Oberbegriff „Schreibutensilien“ untergeordnet und können daher durch innere Koordination verknüpft sein. Wie in diesem Falle geht es in den meisten anderen: die Einordnung einer vorliegenden Reproduktion in eine bestimmte Klasse des Schemas ist ganz willkürlich. Ob bei einem Assoziationsversuche eine größere

---

[1]) Wreschner: Die Reprodukt. und Assoziat. von Vorstellungen, 1. Teil, S. 261, Leipz. 1907.

[2]) Jung, a. a. O. S. 64.

oder geringere Anzahl Reproduktionen in den verschiedenen Gruppen sich findet, ist also nur wenig vom Zustande der Versuchsperson, in hohem Grad dagegen vom Gutdünken des ordnenden und einteilenden Psychiaters abhängig.

Wir sehen also im folgenden gänzlich von den künstlichen Klassifikationen der Wortreaktionen ab, deren Wert um so problematischer wird, je zahlreicher die angenommenen Klassen sind, und stellen nur die Hauptgruppen der überhaupt vorkommenden Reaktionen fest. Wir können dann zwischen *inhaltlichen*, *sprachlichen*, *affektiven* und *motorischen* Reproduktionen unterscheiden.

Eine *inhaltliche Reproduktion* liegt vor, wenn der reproduzierte Zustand sich auf den Inhalt des Dinges bezieht, das die reproduzierende Wahrnehmung erregt hat. Die beiden Zustände müssen also einmal Teilerscheinungen einer komplizierteren Wahrnehmung gewesen sein. Bei den „Assoziationsversuchen" kommen solche inhaltlichen Reproduktionen nie vor, wenn die Reproduktion durch ein Reizwort ausgelöst wird; was man bei diesen Versuchen als inhaltliche Reproduktionen bezeichnet, ist tatsächlich *sprachlich-inhaltliche*, indem der reproduzierte Zustand in irgendeiner Beziehung zum Inhalt der Erscheinung steht, die durch das Reizwort bezeichnet wird. Im Gegensatz hierzu stehen die *rein sprachlichen* Reproduktionen, die keine Beziehung zum Inhalte des Reizwortes aufweisen. Es ist nun aber gar nicht leicht, in jedem einzelnen Falle zu entscheiden, welche dieser beiden Arten vorliegt. Tritt die reproduzierte Vorstellung als Gesichtsbild hervor, wie wenn das Wort blau eine ganze Landschaft mit blauem Himmel und Meer vor dem geistigen Auge abmalt, kann die inhaltliche Beziehung der Reaktion zum Reize keinem Zweifel unterliegen. Schwieriger wird die Entscheidung bei den Individuen, deren Reproduktionen keine „Bilder", sondern nur Worte oder gar „Gedanken" sind. Reproduziert „blau" nur die Worte: „Berlinerblau, in meiner Jugend habe ich es zur Entfärbung der Wäsche angewandt gesehen", so kann es fraglich sein, ob blau—Berlinerblau nur eine Wortergänzung sei, was bei einem Nichtchemiker übrigens recht unwahrscheinlich ist, oder ob der hinzugefügte Satz nicht eher auf eine inhaltliche Reproduktion hinweise. Analog verhält es sich in vielen anderen Fällen; „Kuh—Milch" ist sprachlich eine Wortergänzung, worin sich aber sehr wohl eine inhaltliche Reproduktion verbergen kann. Es ist leicht ersichtlich,

wie bedenklich die Klassifikation der Reproduktionen in eine große Anzahl Gruppen wird, wenn schon die Hinweisung derselben in einige Hauptklassen auf so große Schwierigkeiten stößt.

Als *rein sprachliche* Reproduktionen bezeichnen wir diejenigen Verbindungen zwischen einem Reizwort und den Reaktionsworten, die ausschließlich durch eine sprachliche Verknüpfung zustande kommen. Solche Reproduktionen liegen zweifellos vor bei Reimen, die nur durch eine Klangähnlichkeit verbunden sind, und bei Wortergänzungen, die ohne Rücksicht auf den Sinn und die Buchstabierung des Reizwortes ausgesprochen werden (z. B.: Matt—erial). Ebenfalls kann das Reizwort durch sprachliche Reminiszenzen zu geläufigen Redensarten, Sprichwörtern u. dgl. ergänzt werden. Manchmal ist aber schon hier eine inhaltliche Verknüpfung nicht ausgeschlossen. (Rose — keine Rose ohne Dornen, kann sehr wohl durch die inhaltliche Verbindung Rose — Dorn als Zwischenglied auftreten.) In noch höherem Grade gilt dies, wie schon oben bemerkt, von den sinnvollen, zusammengesetzten Worten.

Affektive Reproduktionen liegen vor, wenn der Reiz, ohne selbst gefühlsbetont zu sein, einen mehr oder weniger stark gefühlsbetonten Zustand hervorbringt. Solche Reproduktionen beziehen sich wohl immer auf das Ich; es wird eine Erinnerung an irgendein lust- oder unlustbetontes Erlebnis der betreffenden Person erweckt. Der Anblick eines Pferdes in einem Tore ist nichts Ungewöhnliches und meist ohne merkbaren Gefühlston; gelegentlich kann die Situation mich aber daran erinnern, wie ich einmal überfahren wurde, und dann kann ich in abgeschwächter Form die frühere Gemütsbewegung wiedererleben. Die Neigung zu solchen „egozentrischen“ Beziehungen ist individuell sehr verschieden. Während sie sich bei vielen Menschen nur dann geltend macht, wenn der Reiz an wirklich bedeutungsvolle Erlebnisse erinnert, besteht bei anderen fast konstant die Neigung, alles auf das Ich zu beziehen, so daß diese Personen aus der einen „Stimmung“ in die andere fallen. Bei den „Assoziationsversuchen“ bekundet sich diese egozentrische Neigung sehr oft dadurch, daß die Reaktionsworte Wertschätzungen sind; Prädikate wie gut, schlecht, angenehm usw., die die Beziehung des Reizes zum Ich angeben, sind bei diesen Individuen recht häufig, sonst aber äußerst selten.

Wenn bei den Assoziationsversuchen das Reizwort die Erinnerung an ein affektives Erlebnis erweckt, so verraten die Reaktionsworte entweder direkt oder häufiger indirekt die Natur dieses Erlebnisses. Werden z. B. von den folgenden Reizworten die beigefügten Reaktionsworte reproduziert: „küssen — immer wieder; Zeit — jetzt nicht; reif — bin ich dazu; Schutz — kann ich ihr nicht bieten; Treue — habe ich nicht gehalten; wählen — eine andere; scheiden — brauche ich nicht; Recht — hat sie nicht; Rache — o nein!; lieb — hatte ich sie“, so ist es wohl kaum zweifelhaft, daß es sich hier um eine vor kurzem zum Abschluß gekommene Liebesgeschichte handelt[1]). Jedes Reizwort, das an ein solches Verhältnis anknüpft, löst eine den Gefühlen der Versuchsperson entprechende Reaktion aus. Eine so offene Darstellung der inneren Regungen ist jedoch selten. Wenn die Erinnerungen peinlich sind, so daß die Versuchsperson ungern daran denkt und erst recht nicht wünscht, sie anderen mitzuteilen, können sie sich dennoch, aber auf ganz andere Weise verraten. Was der Versuchsperson unmittelbar einfällt, will sie eben nicht angeben und sucht daher nach unverdächtigen Reaktionsworten. Ein solches Suchen erfordert aber oft eine geraume Zeit, und die gefundenen Worte stehen, weil sie meistens weit hergeholt sind, in keiner augenfälligen Beziehung zum Reizworte, d. h. dem Anschein nach sind die Reaktionen sinnlos. Wo diese beiden Merkmale zusammentreffen: eine außergewöhnlich lange Reaktionszeit und eine jedenfalls gekünstelte, „gesuchte“ Reaktion, liegt fast immer eine affektive Reproduktion vor, und aus einer genügend großen Anzahl Versuche läßt sich die besondere Art des dahinter steckenden Affektes (des „Konstellationskomplexes“) bestimmen. Bei normalen Individuen kommen solche verdrängten, affektiven Vorstellungsgruppen wohl selten vor, dagegen häufig bei Verbrechern, und in der Hysterie bilden sie nach der Breuer-Freud'schen Theorie die Ursache der Krankheit (vgl. jedoch Kap. 70).

Die *motorischen Reproduktionen* unterscheiden sich in der Beziehung von den schon erwähnten Formen, daß der reproduzierte Zustand kein psychischer ist oder wenigstens zu sein braucht. Die meisten Handlungen des täglichen Lebens sind oft äußerst komplizierte Muskelbewegungen, die von Wahr-

[1]) Jung: Diagnostische Assoziationsstudien. Journal für Psych. u. Neurol. B. 4. S. 41.

nehmungen oder Vorstellungen reproduziert werden, ohne daß man sich der Ausführung der einzelnen Bewegungen bewußt wird; man weiß eben nur, daß der Zweck erreicht wird. Es fällt mir z. B. ein, eine Notiz zu machen, und meine Hand ergreift den Bleistift, dessen Lage ich nur undeutlich erblicke, und fängt das Schreiben an. Während ich über die ferner zu schreibenden Worte nachsinne, fährt die Hand zu schreiben fort, und von diesen äußerst verwickelten Bewegungen weiß ich eigentlich nur, daß sie zustande kommen. Dies Bewußtwerden der Bewegungen geht zumal nicht denselben voraus, so daß die Vorstellungen die Bewegungen leiten, sondern beruht auf Gesichtsempfindungen und Empfindungen der ausgeführten Bewegungen (S. 346). Die direkt reproduzierten Zustände sind somit hier zweifellos die motorischen Innervationen, die in Fällen wie dem erwähnten von keinen psychischen Erscheinungen begleitet sind [1]). Vom psychophysiologischen Gesichtspunkte aus besteht aber kein wesentlicher Unterschied zwischen den motorischen und den übrigen Reproduktionen: in allen Fällen löst ein Gehirnvorgang einen anderen aus; ob dieser letztere aber von einem Bewußtseinszustand begleitet oder nicht begleitet ist, wird besonders davon abhängig, welche Gehirnsphäre erregt wird.

In einer Beziehung besteht jedoch dem Anscheine nach ein wesentlicher Unterschied. Wie oben hervorgehoben, erfordert jede Reproduktion als notwendige Bedingung eine Assoziation; die Zustände müssen sich erst verknüpft haben, damit von einer Reproduktion des einen durch den anderen die Rede sein kann. Solange es sich nur um Zustände handelt, die durch äußere Reize erregt werden können, läßt sich die Assoziation dadurch zustande bringen, daß die Zustände durch die Reize gleichzeitig erregt werden. Da aber die motorische Sphäre des Großhirns nicht direkt durch äußere Sinnesreize erregt werden kann, erhebt sich die Frage, wie die motorischen Innervationen, die Erregungen der motorischen Sphäre, anfangs zustande kommen, so daß sie sich mit anderen Gehirnvorgängen assoziieren können. Wir müssen die Möglichkeit einer vorausgehenden Assoziation nachweisen können,

---

[1]) Wir werden später (S. 476) sehen, daß die motorische Innervation zweifellos auch von psychischen Zuständen, Bewegungserinnerungsbildern, begleitet sind, die aber gewöhnlich so schwach sind, daß sie nur unter besonderen Umständen merklich werden. Vgl. hierzu Martin: Zur Lehre von den Bewegungsvorstellungen, Zeitschr. für Psychol. Bd. 56, S. 401 u. f.

wenn von einer späteren Reproduktion die Rede sein soll, und es muß mithin dargelegt werden, wie zum ersten Male gleichzeitig mit einem psychischen Zustande eine diesem Zustand förderliche Bewegung produziert wird, so daß die letztere von dem ersteren nachher reproduziert werden kann. Wir können diese Frage hier nicht beantworten; es wird sich aber später (Kap. 59 und 69) zeigen, daß auch in der Beziehung kein Unterschied zwischen den motorischen und den übrigen Reproduktionen besteht, indem die Gehirnvorgänge sich auf analoge Weise verknüpfen.

Unter den zahlreichen verschiedenen Formen, die die inhaltlichen und sprachlichen Reproduktionen annehmen können, gibt es deren zwei, die in theoretischer Beziehung eine größere Rolle gespielt haben, indem sie nicht nur als Reproduktionsformen, sondern als besondere Assoziationsursachen angesehen worden sind, nämlich die sogenannten „Assoziationen“ durch *Ähnlichkeit* und durch *Gegensatz* (Kontrast). Um Mißverständnissen vorzubeugen, sei hier nur bemerkt, daß es sich bei dieser „Ähnlichkeitsassoziation“ um etwas ganz anderes handelt als bei dem oben dargestellten Gesetz der gegenseitigen Vertretung ähnlicher Zustände. In diesem letzteren Falle kann jeder der sich assoziierenden Zustände A und B durch ähnliche, A_1, A_2, . . . resp. B_1, B_2, . . . , sowohl bei der Assoziationsbildung als bei der späteren Reproduktion ersetzt werden; von einer Ähnlichkeit zwischen dem reproduzierten B und dem reproduzierenden A ist dabei gar keine Rede. Bei der sogenannten Ähnlichkeitsassoziation wird dagegen angenommen, daß die beiden Zustände sich durch ihre gegenseitige Ähnlichkeit verbinden, deren man sich jedoch erst nach stattgefundener Reproduktion bewußt zu werden braucht. Eine Photographie erinnert z. B. an eine Person: es stellt sich vielleicht heraus, daß das Bild gar nicht diese Person darstellen soll, sondern ihr nur ähnlich ist. Die Reproduktion, die Erinnerung an diese fremde Person, scheint somit durch eine Ähnlichkeit entstanden zu sein, die sich erst nachher konstatieren läßt.

Ähnlichkeitsreproduktionen dieser Art kommen häufig vor: durch Versuche ist es sogar nachgewiesen worden, daß fast ausschließlich solche Reproduktionen vorkommen, wenn als Reizworte sinnlose Silben angewandt werden [1]), indem die Klangähnlichkeit die reproduzierten Worte bestimmen. Es fragt sich nun, ob das Vorkommen solcher Reproduktionen beweise, daß die Ähnlichkeit als eine besondere *Assoziationsursache* anzunehmen sei. Hiervon kann wohl kaum die Rede sein. Die Ähnlichkeit beruht in den betrachteten Fällen auf einer partiellen Gleichheit; die zusammengesetzten Zustände *abcd* und *aefg* haben das gemeinsame Element *a*, und da *a* häufig gleichzeitig mit *efg* vorgekommen ist, kann es diese Glieder reproduzieren. Es liegen also hier wie sonst nur Einheitsassoziationen, nämlich *abcd* und *aefg*

---

[1]) Peters: Über Ähnlichkeitsassoziation. Zeitschr. für Psychol. Bd. 56, S. 161 u. f.

vor, und was reproduziert wird, sind gar nicht die gemeinsamen Elemente *a* dieser Zustände, sondern eben das, wodurch sich die beiden Zustände unterscheiden, nämlich *cfg*[1]). Zwischen einer solchen Ähnlichkeitsreproduktion und der gewöhnlichen Reproduktion verschiedenartiger Zustände besteht nur der Unterschied, daß ein oder mehrere Elemente des reproduzierenden Zustandes nicht verschwinden, sondern in den reproduzierten Zustand übertragen werden. Das Fortdauern (Perseveration; vgl. Kap. 64 und 68) einiger Elemente ist also wahrscheinlich die Ursache der Ähnlichkeitsreproduktion[2]), während in den betrachteten Fällen *keine Spur einer Assoziation durch Ähnlichkeit sich weder nachweisen läßt noch angenommen zu werden braucht.*

Nicht in allen Fällen beruht die Ähnlichkeit auf einer partiellen Gleichheit der Elemente; zuweilen handelt es sich nur um eine übereinstimmende, zeitliche oder räumliche Anordnung derselben (relative Gleichheit). Bei experimentellen Untersuchungen hat man gefunden, daß auch diese mehr formale Ähnlichkeit sich unter Umständen bei den Reproduktionen geltend machen kann, so daß eine formale Übereinstimmung des reproduzierenden und des reproduzierten Zustandes zutage tritt. Da aber der Inhalt der Reproduktion in diesem Falle durch ganz andere Faktoren bestimmt wird, kann hier noch weniger von einer Assoziation durch Ähnlichkeit die Rede sein. Schließlich scheint die Ähnlichkeit, die auf qualitativer Nachbarschaft beruht (wie z. B. die der einander naheliegenden Farben im Spektrum usw.), nach den bisher vorliegenden Untersuchungen keine besondere Reproduktionstendenz zu besitzen[3]). *Die Ähnlichkeit zweier Zustände läßt sich also in keinem Falle als besondere Assoziationsursache nachweisen.*

Der Ähnlichkeitsreproduktion analog verhält sich die Reproduktion durch Gegensatz oder Kontrast. Als Reproduktionsform kommt sie häufig vor; bei gebildeten Erwachsenen soll sie sogar viel häufiger als die Ähnlichkeitsreproduktion sein[4]). Eine besondere Assoziation durch Gegensatz brauchen wir aber nicht anzunehmen. Ganz davon abgesehen, daß es durchaus unverständlich ist, wie der Gegensatz zweier Zustände sie verknüpfen könnte[5]), ist eine solche Annahme unnotwendig, da die Kontrastreproduktion sich ungezwungen auf die Einheitsassoziation zurückführen läßt. Gegensätze werden zwar nicht häufig zusammen erlebt, aber um so häufiger willkürlich zusammengestellt, um sich gegenseitig zu beleuchten; sie bilden daher oft einheitliche Zustände und können sich mithin reproduzieren[6]).

Auf die verschiedenen, äußeren und inneren Bedingungen, von welchen die Festigkeit der Assoziationen abhängig ist,

---

[1]) Claparède, a. a. O. S. 57.
[2]) Peters, a. a. O. S. 201.
[3]) Peters, a. a. O. S. 174 u. f.
[4]) Wreschner, a. a. O. I. Teil, S. 285.
[5]) Claparède, a. a. O. S. 63 u. f.
[6]) Wreschner, a a. O. 2. Teil, S. 584.

sowie auf die Faktoren, die in jedem gegebenen Falle die Reproduktionen bestimmen, können wir erst später eingehen, wenn wir die Wirkungsweise der Aufmerksamkeit kennen gelernt haben. Im folgenden behandeln wir vorläufig die verschiedenen Konsequenzen der unwillkürlichen Assoziationsbildung, wie sie in den Wahrnehmungen und Vorstellungen, beim Wiedererkennen, in den Trieben, Gewohnheiten und Instinkten zutage treten.

Achtundfünfzigstes Kapitel.

Die inhaltlichen und sprachlichen Reproduktionen.

Wahrnehmung und Vorstellung. Die meisten Dinge der Außenwelt können auf mehrere unserer Sinnesorgane einwirken. Wenn sie gesehen und getastet werden, entstehen Gesichtsbilder verschiedener Form, Größe und Farbe, außerdem Druck- und Temperaturempfindungen. Fast alle tastbaren Objekte geben ferner unter bestimmten Umständen charakteristische Laute (Metallklang, Rasseln des Papiers und der Seide usw.), und sehr viele haben außerdem einen besonderen Geruch oder Geschmack. Ein gegebenes Objekt wird zwar nicht immer all diese Empfindungen gleichzeitig hervorrufen, bei einer Gelegenheit treten diese, bei einer anderen jene Gruppe von Empfindungen hervor; schließlich sind sie aber alle, jedenfalls bei den häufig vorkommenden Objekten, so fest miteinander assoziiert, daß die Erregung einiger dieser Empfindungen ausreicht, um die übrigen zu reproduzieren. In zwiefacher Beziehung ist diese Assoziation der Empfindungen, die von demselben Objekt erregt werden können, von Bedeutung.

Erstens zerlegt sich dadurch die große Mannigfaltigkeit des gleichzeitig Wahrgenommen in verschiedene Teile. Wenn mehrere Empfindungen unter sehr verschiedenen äußeren Umständen stets miteinander auftreten, beziehen wir diesen Komplex auf eine relativ konstante äußere Ursache, ein *Ding*, und der Empfindungskomplex bildet unsere *Wahrnehmung* des Dinges. Diese Zerlegung des gleichzeitigen Bewußtseinsinhaltes in Wahrnehmungen verschiedener Dinge ist die erste Analyse, die bei jedem normalen Kinde nach und nach durch die Assoziation der Empfindungskomplexe von selbst zustande kommt. Wie diese Analyse absichtlich fortgesetzt werden kann und

schließlich zur Zerlegung der Bewußtseinsinhalte in psychische Elemente führt, wurde schon oben (S. 169) erwähnt. In praktischer Beziehung hat diese konsequente Durchführung der Analyse indes keine Bedeutung, weil im täglichen Leben nur die Dinge und ihre Teile, dagegen nicht die letzten Elemente unserer Wahrnehmungen von Interesse sind.

Zweitens ist deshalb die feste Assoziation der Empfindungskomplexe bedeutungsvoll, weil wir mittels derselben auch ohne eingehendere Untersuchung die Dinge erkennen. Ich trete z. B. in ein Zimmer hinein und bemerke einen sechsbeinigen Gegenstand, desgleichen ich in meinem Leben noch nie gesehen habe. Nichtsdestoweniger ist es mir sofort klar, daß es ein Sessel ist, ja, ich glaube sogar wahrnehmen zu können, daß es sich darin sehr bequem ausruhen läßt. Selbstverständlich kann ich dies gar nicht sehen; das Gesichtsbild des Stuhles reproduziert aber, früheren Erfahrungen zufolge, gewisse Empfindung von Weichheit der Polsterung, von einer angenehmen Körperlage usw. Durch solche reproduzierten Empfindungen, *Vorstellungen,* ergänzt sich jede Wahrnehmung eines einigermaßen bekannten Dinges, und die Wahrnehmung enthält somit viel mehr, als was direkt empfunden wird. Unter Umständen kann das nur Vorgestellte wohl sogar den weit überwiegenden Teil einer Wahrnehmung ausmachen. Komme ich z. B. abends in mein völlig dunkles Zimmer hinein und lege die Hand auf die Lehne eines Stuhls, bin ich sofort orientiert. Obwohl ich den Stuhl nicht sehen kann, nehme ich ihn dennoch wahr: die wenigen Druck- und Muskelempfindungen genügen, um mich davon zu vergewissern, daß es dieser bestimmte Stuhl in seiner gewöhnlichen Lage ist. Das nur Vorgestellte überwiegt also in diesem Falle zweifellos das wirklich Empfundene.

Bekanntheit, Wiedererkennen. Auf den erwähnten Ergänzungen unserer Wahrnehmungen mittels Vorstellungen beruht es, daß wir die Dinge kennen, daß sie uns *bekannt* vorkommen. Wenn ich einen sechsbeinigen Gegenstand als einen Stuhl auffasse, rührt es einfach daher, daß die Form des Dinges, trotz der sechs Beine. die Vorstellung erweckt, daß man darauf sitzen kann, und daß es keinen anderen Zweck haben kann. Eine Maschine, die ich nie früher gesehen habe, und deren Zweck ich mir nicht vorstellen kann, ist mir eben deshalb *unbekannt.* Völlig neue Dinge, die gar keine Vorstellungen erwecken, kommen indes nur selten vor, und man

befindet sich daher nur ausnahmsweise in dem eigentümlichen seelischen Zustand, etwas durchaus Unbekanntem gegenüberzustehen. In der photographischen Dunkelkammer kann man es jedoch nicht gar zu selten erleben, wenn man nach einer Ferienreise eine größere Anzahl Negative entwickelt. Es erfordert eine gewisse Übung, die auf den Platten erscheinenden Bilder aufzufassen, weil die Lichter dunkel, die Schatten hell hervortreten und außerdem rechts und links umgekehrt sind. Entwickelt man nun eine Platte, ohne im voraus zu wissen, was das Bild vorstellen soll, kann es mitunter vorkommen, daß die zum Vorschein kommenden hellen und dunklen Flecken überhaupt keinen Sinn geben. Es werden keine Vorstellungen irgendwelcher bekannten Dinge hervorgerufen, man ist durchaus leer. Auf diese Weise kann man das Experimentum crucis anstellen, das beweist, wie die Bekanntheit der Wahrnehmungen einfach auf den sie ergänzenden Vorstellungen beruht.

Diesen Erfahrungen widerstreiten indes anscheinend die Ergebnisse gewisser Versuche. Wir werden sofort hierauf näher eingehen, nur müssen wir erst eine neue Gruppe Assoziationen berücksichtigen, die ebenso bedeutungsvoll wie die bisher erwähnten inhaltlichen sind, nämlich *die sprachlichen, die Worte*, die Namen der Dinge. Schon im ersten Lebensjahre fängt das Kind an, einige Worte zu verstehen, d. h. die Schallbilder sind so fest mit bestimmten Wahrnehmungen assoziiert, daß die von anderen Personen ausgesprochenen Worte im kindlichen Bewußtsein die Vorstellungen der betreffenden Dinge hervorrufen. Diese Assoziationsbildung schreitet in den folgenden Jahren schnell vorwärts, bis das Kind die Sprache mehr oder weniger vollständig beherrscht, so daß nicht nur jedes gesprochene Wort eine bestimmte Vorstellung hervorruft, sondern auch jede Vorstellung die bestimmten Muskelbewegungen auslösen kann, wodurch die betreffenden Sprachlaute zustande kommen. Diese Entwicklung ist, wie wir später sehen werden, für das menschliche Seelenleben von entscheidender Bedeutung, was eben darauf beruht, daß das Schallbild, der Name des Dinges mit den verschiedenen Empfindungen, die das Ding erregen kann, so fest verknüpft wird, daß der Name ein Repräsentant, ein Symbol aller dieser Empfindungen wird. Der Name verhält sich zur Vorstellung des Dinges genau wie Papiergeld, das auf Anforderung jederzeit gegen Gold eingelöst wird, zu dem Metall. Höre ich das

Wort „Stuhl“, kann ich, wenn ich aufmerke, leicht beobachten, wie es ein bestimmtes Gesichtsbild und daneben verschiedene Tast-, Muskel- und Lagevorstellungen hervorruft. Während eines Gesprächs, wo das Wort genannt wird, habe ich zwar keine Zeit, all diese Vorstellungen zu bemerken; desungeachtet kann es keinem Zweifel unterliegen, daß sie unter der Schwelle des Bewußtseins mitklingen, und eben deshalb „verstehe“ ich das Wort. Wäre dasselbe Wort auf Russisch genannt, würden die betreffenden Vorstellungen nicht reproduziert werden, weil ich Russisch nicht verstehe, oder vielleicht richtiger: weil die Vorstellungen nicht reproduziert werden, verstehe ich nicht Russisch. Die Worte einer Sprache, die ich verstehe, repräsentieren somit je eine bestimmte Wahrnehmung und können nach Belieben mit der betreffenden Vorstellung gewechselt werden. Umgekehrt kann ich eine mir bekannte Wahrnehmung eben dadurch als bekannt angeben, daß ich ihren Namen nenne. Wenn ich zum ersten Male das oben erwähnte sechsbeinige Unikum sehe und sofort ausrufe: „Ein sechsbeiniger Stuhl!“, so bezweifelt niemand, daß ich das Ding richtig erkannt habe. Mit dem Worte Stuhl ist eben alles gesagt, indem es all die Vorstellungen repräsentiert, die unter der Schwelle des Bewußtseins mitklingen.

Bei komplizierteren Wahrnehmungen ist es wohl kaum je ernstlich in Zweifel gezogen worden, daß ihre Bekanntheit auf Ergänzungen, auf der Reproduktion derjenigen assoziierten Vorstellungen beruht, die durch die äußeren Reize eben nicht erregt werden. Bei den einfachen Empfindungen dagegen, wo solche Ergänzungen durch Reproduktionen im voraus ausgeschlossen zu sein scheinen, ist es vielfach behauptet worden, daß andere Ursachen der Bekanntheit angenommen werden müßten. Versuche, mit Geruchsempfindungen angestellt, haben indes gezeigt, daß in der überwiegenden Mehrheit der Fälle auch diese Empfindungen Vorstellungen reproduzieren [1]). Entweder sind es einfach die Namen der betreffenden Geruchsstoffe, womit zweifellos auch das Aussehen und sonstige Merkmale der Stoffe mitklingen. Oder aber es sind bestimmte äußere Umstände, unter welchen die betreffenden Versuchspersonen die einzelnen Geruchsempfindungen früher erlebt haben. In beiden

[1]) Lehmann: Kritische und exper. Studien über das Wiedererkennen. Wundt, Phil. Stud. Bd. 7, S. 185. Gamble und Calkins: Die reproduzierte Vorstellung beim Wiedererkennen. Zeitschr. für Psych. Bd. 32, S. 184.

Fällen liegen also Reproduktionen vor, die die Bekanntheit völlig erklären können. Bin ich z. B. damit im reinen, daß ich einem bestimmten Geruch beim Zahnarzte begegnet bin, so ist mir diese Empfindung jedenfalls nicht ganz unbekannt.

Es kommen jedoch zwei Gruppen von Fällen vor, die dieser Erklärung der Bekanntheit Schwierigkeiten bereiten. Erstens findet man, daß Empfindungen als bekannt angegeben werden, obwohl es den Versuchspersonen nicht gelingt, irgendwelche bewußten Reproduktionen anzugeben, die die Bekanntheit erklären können. Zweitens werden mitunter Geruchsempfindungen als unbekannt bezeichnet, obwohl sie bestimmte Vorstellungen reproduzieren. Der erstere Fall ist wohl kaum entscheidend. Wie schon oben erwähnt, kommt es auch bei komplizierteren Wahrnehmungen vor, daß wir uns der reproduzierten Vorstellungen nicht bewußt werden, und dennoch sind sie zweifellos vorhanden, und der ganze Zustand steht als bekannt da. Es fragt sich also nur, ob wir bei den bekannt erscheinenden einfachen Empfindungen Reproduktionen unter der Schwelle des Bewußtseins annehmen dürfen. Nun habe ich gefunden, daß man nur die Aufmerksamkeit der Versuchsperson in die richtige Richtung zu lenken braucht, um in solchen Fällen die Reproduktionen über die Schwelle des Bewußtseins zu erheben[1]). Sie sind also tatsächlich vorhanden, und Bekanntheit ohne Reproduktionen heißt also eigentlich nur: ohne bewußte Reproduktionen.

Etwas schwieriger liegt die Sache in dem Falle, wo die Empfindungen unbekannt genannt werden, obwohl Reproduktionen tatsächlich vorkommen. Hieraus schließen Gamble und Calkins, vielleicht etwas voreilig, daß die Bekanntheit mithin nicht auf Reproduktionen beruhen kann. Wie ersichtlich, läßt sich eigentlich nur folgern, daß nicht jede beliebige Reproduktion ausreicht, um der Empfindung die Bekanntheit zu verleihen. Weiß die Versuchsperson z. B., daß die reproduzierte Vorstellung etwas betrifft, das einen ganz anderen Geruch hat, wird die gegenwärtige Geruchsempfindung ihm schwerlich durch diese Reproduktion bekannt erscheinen.

Analoge Versuche können kaum auf irgendeinem anderen Sinnesgebiete angestellt werden. Es gibt nämlich eine fast unendliche Anzahl qualitativ verschiedener Geruchsempfindungen, und die meisten derselben kommen nur gelegentlich im täg-

---

[1]) Lehmann, a. a. O. S. 194.

lichen Leben vor; hierauf beruht es, daß einem Erwachsenen die Frage überhaupt gestellt werden kann, ob ihm eine Geruchsempfindung bekannt oder unbekannt erscheine. Auf jedem anderen Sinnesgebiet würde eine solche Frage einfach keinen Sinn haben, weil alle Empfindungen so häufig vorkommen, daß sie uns ohne Ausnahmen einigermaßen bekannt sind. Dagegen kann man natürlich auf jedem Gebiete die Frage stellen, ob eine gegebene Empfindung so bekannt sei, daß sie genau benannt werden könne. Die Fähigkeit, die Empfindungen zu benennen, wird das *absolute Gedächtnis* für die betreffende Modalität genannt und ist im allgemeinen recht selten. Die meisten Menschen können zwar z. B. innerhalb gewisser Grenzen das Gewicht von nicht zu schweren Gegenständen abschätzen; die dabei gemachten Fehler sind aber oft mehr als 100 % des beurteilten Gewichts. Ein einigermaßen genaues Gedächtnis in dieser Beziehung, das von praktischer Bedeutung sein kann, erfordert erstens angeborene Anlagen und zweitens eine durch fortwährende Übung erworbene Fähigkeit. Es können z. B. einige Postexpedienten mit erstaunlicher Genauigkeit das Gewicht der Briefe nur nach den Druckempfindungen beurteilen, so daß sie sofort angeben können, ob ein vorliegender Brief richtig frankiert sei.

Am genauesten untersucht ist das *absolute Tongedächtnis* [1]). Einige Menschen besitzen die Fähigkeit, einen gehörten Ton sofort benennen zu können; der Name kann entweder die gewöhnliche Bezeichnung mittels Buchstaben oder das Bild der betreffenden Klaviertaste sein. Andere Menschen können sich einen genannten Ton vorstellen; diese Fähigkeit ist aber gar nicht mit derjenigen, einen vorliegenden Ton zu benennen, gegeben. Nur wenige Menschen sind imstande, beides zu tun.

Es gibt natürlich auch ein *absolutes Farbengedächtnis*, das sich aber im täglichen Leben kaum geltend machen kann, da die gewöhnliche Sprache gar zu wenige Farbennamen besitzt, um eine einigermaßen genaue Benennung der zahlreichen Qualitäten zu ermöglichen. Wenn ein Maler aber die Farbstoffe und ihr ungefähres Mischungsverhältnis angeben kann, deren er zum Herstellen eines vorliegenden Farbentons bedarf, so ist dies augenscheinlich eine Leistung des absoluten Farbengedächtnisses, indem die Farbstoffe zur Benennung der

[1]) Abraham: Das absolute Tonbewußtsein. Sammelhefte der internat. Musikgesellsch. Berlin 1901.

Empfindungen herangezogen werden. Andere Farbennomenklaturen sind übrigens auch möglich. Wer viel mit Spektralfarben arbeitet, lernt nach und nach mit immer größerer Sicherheit die Wellenlänge einer vorliegenden Spektralfarbe angeben zu können. Selbstverständlich kann — bei der Benennung der Farben so wenig wie bei der der Töne — keine Rede davon sein, daß sämtliche Empfindungen mit je ihrem Namen verknüpft werden; es bilden sich nur feste Assoziationen zwischen den am häufigsten vorkommenden Empfindungen und den entsprechenden Namen, und im Verhältnis zu einer solchen festen Skala werden die übrigen beurteilt. Wie sich aber diese Beurteilung vollzieht, ist nicht leicht zu sagen, da eine Reproduktion der Skala und ein Vergleich mit derselben eigentlich nie stattfinden. Ich kann zwar die 13 äquidistanten Spektralfarben 670, 650 . . . 430 mir sehr lebhaft vorstellen, ich reproduziere aber kein Glied der Reihe, wenn ich eine im Spektrophotometer vorliegende Farbe beurteile; die isolierte Empfindung reproduziert höchstens ihre eigene räumliche Lage im Spektrum, und damit ist ihre Wellenlänge gegeben.

Bei allen diesen Leistungen des absoluten Gedächtnisses sehen wir also, wie es sich darum handelt, daß eine Empfindung einen ganz bestimmten Namen reproduziert; hiermit tritt die Empfindung als völlig bekannt hervor. Da eine solche Assoziation zwischen der Empfindung und dem Namen, wenn sie einmal gebildet ist, nur langsam gelockert wird, ist eben auf diese Weise ein relativ sicheres Wiedererkennen von Empfindungen möglich. Durch Versuche läßt sich dies denn auch leicht konstatieren [1]), wenn man nur dafür Sorge trägt, daß die zu untersuchenden Empfindungen nicht zu zahlreich, ihre Unterschiede nicht zu klein sind, und es schließlich den Vpn. auch gelingt, den Namen mit den Empfindungen zu assoziieren. Wenn man aber, wie Gamble und Calkins, diese Vorsichtsmaßregeln nicht beachtet, kann man natürlich auch keine Wirkung der tatsächlich nicht gebildeten Assoziationen nachweisen [2]).

Wir können also hiernach feststellen: *Die Bekanntheit sowohl der einfachen Empfindungen als der zusammengesetzten*

---

[1]) Lehmann: Über Wiedererkennen, Phil. Stud. Bd. 5, S. 135 u. f. Angell: Discrimination of shades of Grey. Phil. Stud. Bd. 19, S. 1 u. f.

[2]) Zeitschr. für Psychol. Bd. 33. S. 161 u. f.

Wahrnehmungen kommt dadurch zustande, daß überhaupt Vorstellungen reproduziert werden; einerseits reicht aber nicht jede beliebige Reproduktion aus, um eine Empfindung als bekannt hervortreten zu lassen, und anderseits kann die Bekanntheit auch von Reproduktionen herrühren, die sich kaum über die Schwelle des Bewußtseins erheben.

Diese Auffassung ist jedenfalls durch Tatsachen besser erhärtet als die nicht ungewöhnliche, daß die Bekanntheit ein Gefühl sei. Ich habe wohl selbst als erster diese Vermutung ausgesprochen, bald nachher aber ihre Unmöglichkeit nachgewiesen[1]); desungeachtet ist diese Hypothese von andern Forschern später verteidigt worden[2]). Selbstverständlich kann die Bekanntheit bisweilen sogar stark lustbetont sein. Wenn die dunklen und die hellen Flecken des sich entwickelnden Negativs plötzlich einen Sinn geben und eine Landschaft daraus hervortritt, wird dies Wiedererkennen gewiß erfreulich sein. Die Lust ist aber eine Folge der Bekanntheit und nicht umgekehrt; man wird doch kaum behaupten können, daß die bisher sinnlosen Flecken mir jetzt als landschaftliche Szenerie erscheinen, weil ich mich freue.

Auf eine andere psychologische Auffassung: daß die Bekanntheit durch Gleichheitsreproduktionen zustande komme, brauchen wir hier nicht näher einzugehen, weil diese Hypothese psychophysiologisch unmöglich ist. Wenn eine gegenwärtige Empfindung die nämlichen, früher dagewesenen Empfindungen reproduzieren soll, muß also ein gegenwärtiger zentraler Vorgang sich selbst, und zwar zu mehreren früheren Zeitpunkten wiederholen; ich gestehe, daß ich mit diesen Worten keinen Sinn verbinden kann.

Es erübrigt noch, den Fall zu erwähnen, wo es sich nicht einfach um die Bekanntheit einer Wahrnehmung handelt, sondern wo das Wahrgenommene als dieses bestimmte, von allen ähnlichen individuell verschiedene Ding wiedererkannt wird. Von einem solchen *Wiedererkennen* kann nur bei komplizierten Wahrnehmungen die Rede sein, indem ja vorausgesetzt wird, daß individuelle Merkmale neben den Artseigentümlichkeiten bestehen. Im täglichen Leben sind Fälle dieser Art überaus häufig; der psychische Vorgang läßt sich leicht an einem Beispiel nachweisen. Es wird mir z. B. ein Hut vorgelegt mit der Frage, ob es der meinige sei. Die Wahrnehmung *A* des Huts reproduziert die Vorstellung *b* von einem Merkmale, das sich auf der Innenseite meines Huts befindet. Ich sehe daher nach und nehme wirklich das Merkmal *B* da wahr, wo ich es erwarte. Wegen dieser Übereinstimmung des Wahrgenommenen *B* mit der Vorstellung *b* behaupte ich,

[1]) Lehmann, Phil. Stud. Bd. 7, S. 183 u. 191.

[2]) Claparède, a. a. O. S. 336.

daß der Hut mein ist. Beim Wiedererkennen komplizierterer Objekte, z. B. einer Gegend, deren man sich anfangs gar nicht erinnert, kann die Übereinstimmung mehrerer sukzessiver Wahrnehmungen mit den nach und nach dämmernden Erinnerungen erforderlich sein, um das Wiedererkennen herbeizuführen [1]). In der Hauptsache wird aber dabei nichts geändert: *Wenn ein Ding als dieses bestimmte Individuum wiedererkannt wird, beruht es auf der Reproduktion bestimmter Vorstellungen, die mit dem nachher Wahrgenommenen übereinstimmend gefunden werden* [2]).

Illusionen. Eine Wahrnehmung enthält, wie wir oben sahen, immer mehr als das wirklich Empfundene, indem die erregten Empfindungen sich mit reproduzierten Vorstellungen ergänzen. Sehr häufig wird daher die Wahrnehmung dem betreffenden Gegenstand nicht entsprechen, einfach weil falsche Vorstellungen reproduziert worden sind. Man sieht z. B. im Zimmer eines Bekannten einen Ofenschirm und ergänzt diese Wahrnehmung mit einem dahinter stehenden Ofen, den man freilich gar nicht gesehen hat. Bei einer späteren Gelegenheit entdeckt man, daß kein Ofen, sondern ein Schrank hinter dem Schirme steckt. In einem solchen Falle ist der Irrtum verständlich, da man tatsächlich von dem vermuteten Ding nichts gesehen hat. Ganz analoge Täuschungen, Illusionen, können aber unter ungünstigen Umständen auch dann eintreten, wenn das irrig aufgefaßte Objekt wirklich teilweise gesehen ist.

Eine solche Möglichkeit liegt vor, indem ganz verschiedene Wahrnehmungen gemeinsame Elemente haben können. Ein Ding *I* kann die Empfindungen *ABCDEF* erregen; werden nur *ABC* erregt, und ergänzen sie sich mit den Vorstellungen *def*, liegt also die Wahrnehmung *ABCdef* vor, die teilweise von empfundenen, teilweise von reproduzierten Elementen zusammengesetzt ist. Ein anderes Objekt *II* kann mit *I* das Element *A* gemeinsam haben, weicht aber sonst von *A* völlig ab, z. B. *AMNOP*. Es sei nun dies Objekt *II* unter solchen äußeren Umständen gegeben, daß nur *A* empfunden wird. Diese Empfindung *A* kann aber ebenso gut *bcdef* als *mnop* reproduzieren. Wird nun wegen des augenblicklichen Zustandes des wahrnehmenden Bewußtseins in einem gegebenen

---

[1]) Lehmann: Über Wiedererkennen. Phil. Stud. Bd. 5, S. 111.

[2]) Obwohl es keineswegs schwierig ist, diesen ganzen Vorgang zu beobachten, sagt nichtsdestoweniger Claparède (a. a. O. S. 337): „Cela contredit l'expérience psychologique". Merkwürdig!

Falle *bcdcf* reproduziert, so meint man das Objekt *I* gesehen zu haben, obwohl *II* das wirklich gegenwärtige war. Das Zustandekommen solcher Assoziationstäuschungen erfordert, wie ersichtlich, daß die äußeren Umstände eine genaue Beobachtung ausschließen; Illusionen treten daher besonders im Dunkeln ein.

Das folgende Beispiel ist typisch. Während eines Manövers erhält ein Offizier nachts den Auftrag, einen Hügel mit seiner Abteilung zu besetzen. An dem Fuß des Hügels angelangt, sieht er gegen den hellen Himmel, wie der Gipfel eben von zwei kleinen, wahrscheinlich feindlichen Abteilungen besetzt wird. Vorrücken kann er jetzt nicht, und er wartet daher, um zu sehen, wie sich die Lage entwickelt. Die Evolutionen der feindlichen Abteilungen werden aber bald so merkwürdig, daß er sich näher wagt, und er findet dann, daß die vermuteten feindlichen Truppen zwei weidende Pferde sind. — Die falschen Reproduktionen kommen natürlich hier dadurch zustande, daß die Vorstellung von feindlichen Truppen, die erwartet werden konnten, vorherrschend war; das Bewußtsein war hierauf „eingestellt" (Kap. 62). Auf ganz analoge Weise wird jeder der gläubigen Anwesenden bei einer spiritistischen Seance einen leuchtenden Fleck von Balmainfarbe als den Geist eines neulich verstorbenen Verwandten auffassen. Man erwartet im Voraus bestimmte Geister zu sehen, und derselbe Fleck befriedigt alle Erwartungen.

Individuelle Differenzen. Die oben erwähnten Assoziationsversuche zeigten, daß die von einem bestimmten Worte reproduzierte Vorstellung bei verschiedenen Individuen einen ganz verschiedenen Charakter haben kann. Die Vorstellung Apfel z. B. kann bei einigen Individuen von Erinnerungsbildern der verschiedenen Empfindungen gebildet sein; solche Personen sehen geradezu einen Apfel mit oft lebhaften Farben, und daneben können Erinnerungsbilder von Tast-, Geruchs- und Geschmacksempfindungen entstehen. Nach Ribot [1]) sind die beiden letzteren Gruppen von Erinnerungsbildern durchaus nicht so selten, wie es im allgemeinen angenommen wird, und ebenfalls können Erinnerungsbilder von Bewegungs- und Lageempfindungen oft sehr lebhaft werden. Die Vorstellungen können also im Ganzen einen recht sinnlichen Charakter haben, so daß sie sich von den Wahrnehmungen eigentlich nur hinsichtlich der Stärke unterscheiden. Im Gegensatz hierzu gibt es Personen, deren Vorstellungen jedes sinnlich-anschaulichen Elementes bar sind. Zwischen diesen beiden Gegensätzen liegen wohl die Vorstellungen der meisten Menschen, indem sie mehr oder weniger lebhafte Erinnerungsbilder der

[1]) La psychologie des sentiments, Paris 1896; pag. 141 u. f.

Empfindungen sind[1]). Je nach der Art der vorherrschenden Erinnerungsbilder unterscheidet man verschiedene *Vorstellungs-* oder *Anschauungstypen.*

Die Fähigkeit des anschaulichen Vorstellens ist von großer praktischer Bedeutung. Es würde wohl kaum einem Erfinder möglich sein, eine neue kompliziertere Maschine zu konstruieren, wenn er nicht imstande wäre, die ganze Konstruktion vor seinem geistigen Auge zu sehen. Die Teile dieses Bildes können mühelos nach Belieben umgeformt, aus- oder eingeschaltet werden, bis sie ihren Zweck erfüllen, und erst dann braucht die Maschine gezeichnet zu werden, damit die genaue Lage und die Größe der einzelnen Teile festgestellt werden können. Auf dieselbe Weise arbeitet wohl auch immer jeder bildende Künstler, selbst wenn er nur ein einfaches Muster komponiert; wenn er sich das Bild nicht anschaulich vorstellen könnte, würde er es auch nicht zeichnen können. Die Schachspieler, die „blind", ohne das Brett zu sehen, spielen, haben ebenfalls die Fähigkeit, sich die Stellung der zahlreichen Figuren anschaulich vorzustellen und festzuhalten, und der sogenannte „Ortssinn", der allerdings eine komplizierte Erscheinung ist, beruht jedenfalls zum Teil darauf, daß die bekannten Punkte einer Gegend in ihrer gegenseitigen Lage anschaulich vorgestellt werden. Alle solche Individuen, die je auf ihrem Gebiete mit Gesichtsvorstellungen arbeiten, werden gewöhnlich als *visuell* bezeichnet.

Bei anderen Tätigkeiten spielen die Schallbilder eine ganz analoge Rolle. Der komponierende Tonkünstler „hört" die Töne, wie der bildende Künstler die Formen und Farben „sieht", und arbeitet mit diesen Vorstellungen. Von vielleicht noch größerer Bedeutung sind die Schallbilder für den Schauspieler, der seine Rolle lernt. Da es sich darum handelt, eine bestimmte Person, einen lebendigen Menschen darzustellen, wird die Kunst des Schauspielers nur dann echt, wenn seine Beobachtungen des Lebens ausreichen, um ihm die charakteristischen Züge einer solchen Person zur Verfügung zu stellen. Das Aussehen, die Kleidung und Gebärden sind natürlich nicht bedeutungslos, das Hauptgewicht liegt aber auf der Rede. Der Schauspieler muß „hören" können, wie die darzustellende Person den bestimmten Satz sagen will, und es wird seine Aufgabe sein, die vorgestellte Rede wieder-

[1]) Galton: Inquiry into human faculty. London 1908, S. 57 u. f.

zugeben. Personen, die diese Fähigkeit des inneren Hörens besitzen, werden *auditiv* genannt. Da jedenfalls die Schallbilder der Worte eng mit Sprechbewegungen verknüpft sind, wird ein inneres Sprechen oft die Schallbilder begleiten, und die betreffenden Personen sind dann *auditiv-motorisch.*

Übrigens sind es nicht ausschließlich die Sprechbewegungen, die vorgestellt werden können. Wie oben (S. 456) erwähnt, wird jede Bewegung willkürlicher Muskeln empfunden, und nur wenn diese Bewegungsempfindungen zustande kommen, kann man die Bewegungen ausführen, ohne die bewegten Glieder zu sehen. Die Erinnerungsbilder der Bewegungsempfindungen sind somit eng mit den auszuführenden Bewegungen verknüpft; sobald die Erinnerungsbilder reproduziert werden, werden dadurch die Muskeln innerviert und mithin die Bewegungen ausgeführt, wenn man sie nicht mittels gleichzeitiger Vorstellungen anderer Art hemmt. Die geschickte Ausführung verwickelter Bewegungen ist wahrscheinlich immer von der Reproduktion lebhafter Bewegungsbilder abhängig, und die Personen, die beim Turnen und den anderen, Geschicklichkeit erfordernden Leibesübungen Vorzügliches leisten können, müssen daher *motorisch* veranlagt sein. Übrigens können die Bewegungserinnerungsbilder auch anderen Zwecken dienen, z. B., so wie wir im Folgenden sehen werden, in verschiedenen Fällen die Gesichtsbilder ersetzen.

Die Individuen, denen jede Art der Erinnerungsbilder von Empfindungen abgeht, werden gewöhnlich als *indifferent* bezeichnet.

Es gibt wenige Personen, die so einseitig veranlagt sind, daß sie entweder nur visuell, auditiv oder motorisch sind. Am häufigsten besteht eine Kombination mehrerer dieser Anlagen, indem die verschiedenen Erinnerungsbilder unter verschiedenen Umständen zur Anwendung kommen, was ja recht natürlich ist, da jede Tätigkeit ihrer Natur zufolge am einfachsten mittels einer bestimmten Art Vorstellungen ausgeführt werden kann. In welcher Ausdehnung aber die verschiedenen Arten von Erinnerungsbildern bei demselben Individuum vorkommen können, ist vorläufig nur wenig untersucht.

Um die individuellen Unterschiede in der erwähnten Beziehung festzustellen, wurde 61 männlichen und weiblichen Studierenden Gelegenheit gegeben, durch Selbstbeobachtung die bei zwei verschiedenen Tätigkeiten zur Anwendung kommenden Erinnerungsbilder zu bestimmen. Die Tätigkeiten waren: fortlaufende Addition einstelliger Zahlen und die Reproduktion einfacher Figuren. Sämt-

liche Figuren waren auf die Weise konstruiert, daß von einem wagerechten Strich 5 kleinere Striche, nach oben oder nach unten, senkrecht oder unter einem Winkel von 45 ^{0} gezeichnet waren (vgl. beispielsweise Fig. 66). Jede Figur war 5 Sek. sichtbar und sollte dann sofort nach dem Gedächtnis gezeichnet werden. Die Hauptaufgabe war aber bei diesen Versuchen, die Erinnerungsbilder ausfindig zu machen, mittels welcher die Zeichnungen festgehalten wurden. Ebenso wurde die Addition häufig unterbrochen, um die erhaltenen Summen in bezug auf ihren psychischen Charakter zu prüfen. Die Tab. 34 gibt die Anzahl der Personen an, die bei den beiden Tätigkeiten die verschiedenen Arten Erinnerungsbilder konstatierten. Nur zwei Punkte sind einer näheren Erklärung bedürftig. Wo von „Figuren“ bei den Additionen die Rede ist, handelt es sich um graphische Darstellungen der Zahlenreihe, die bei den Rechnungen angewandt wurden. Die von den Sprechbewegungen getrennt aufgeführten „Bewegungsbilder“ betreffen Bewegungen der Finger, des Kopfes und in einem Falle des ganzen Körpers.

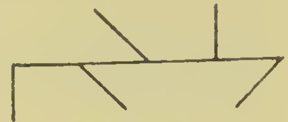


Fig. 66.

Tabelle 34.

Art der Vorstellungen	Zeich.	Add.	Art der Vorstellungen	Zeich.	Add.
Gesichtsbilder (Figuren)	21	7	Gesichtsbilder und Bewegungsbilder . . .	4	
Gesichtsbilder (Zahlen)		3	Bewegungsbilder . . .	3	
Gesichts- und Schallbilder		4	Schallbilder		15
Gesichtsbilder u. Sprechbewegungen		9	Sprechbewegungen . .		7
Gesichtsbilder, Schallbilder und Sprechbewegungen	9	2	Schallbilder und Sprechbewegungen	15	12
			indifferent	9	2

Aus der Tabelle geht hervor, wie zu erwarten stand, daß die Schallbilder und Sprechbewegungen bei der Addition, die Gesichtsbilder bei der Reproduktion der Zeichnungen die wesentlichste Rolle spielen. Interessant ist es, daß die auditiv-motorischen fast ebenso genau wie die visuellen Personen die Zeichnungen wiedergeben.

Bei den nicht exklusiv veranlagten Personen werden die Vorstellungen gewiß immer von Elementen verschiedener Gebiete, je nach der Art der Tätigkeit, in verschiedenem Verhältnis (vgl. Tabelle 34) gebildet. Aber selbst wenn, z. B. beim visuellen Typus, die Gesichtsbilder vorherrschen, sind deshalb nicht die von anderen Sinnesgebieten herrührenden Elemente völlig ausgeschlossen; man kann oft, wenn man die Aufmerksamkeit darauf lenkt, neben den Gesichtsbildern entweder auditive oder motorische Elemente bemerken. Es ist

daher recht wahrscheinlich, daß solche Elemente anderer Art neben den vorherrschenden immer mitklingen und nur unbemerkt bleiben, was jedoch keineswegs ausschließt, daß sie dem Zustand ein bestimmtes Gepräge geben.

Hierdurch wird die Konstitution der Vorstellungen des indifferenten Typus einigermaßen verständlich. Eine bewußte Vorstellung muß irgend eine Form haben; wenn keine Erinnerungsbilder der Empfindungen merklich sind, so bleibt als einzige Möglichkeit nur das Wort übrig, das mit der Gesamtheit der Empfindungen assoziiert ist. Das Wort kann aber auch nur entweder als Schallbild oder als Sprechbewegungsbild oder als Gesichtsbild der geschriebenen oder gedruckten Buchstaben im Bewußtsein gegenwärtig sein. Wenn nun indes alle diese Zustände gleichzeitig mit den Erinnerungsbildern der Empfindungen so schwach erregt werden, daß kein einziges Element vorherrscht, so entsteht zweifellos ein recht komplizierter Zustand, der zwar einer bestimmten Vorstellung entspricht, sich aber wegen des vagen Charakters der einzelnen Elemente kaum analysieren läßt. Man hat dann die *Bewußtheit* eines bestimmten Inhaltes ohne eine anschauliche Form desselben [1]). Von dieser Art sind wohl die *abstrakten* Vorstellungen der meisten Individuen [2]). Eine Abstraktion, wie z. B. „Qualität“, enthält zunächst eine ganze Reihe von Vorstellungen sehr unbestimmter Form. Es schwebt einem die psychologische Bedeutung des Wortes, die Empfindungsarten, vor, gleichzeitig aber auch die Bedeutung der Handelssprache, wo es eher Stärkeunterschiede bezeichnet (Qualitäten einer Ware). Diese Vorstellungen: Art und Stärke nebst ihren zahlreichen Assoziationen sind so unbestimmt, daß man selten angeben können wird, ob sie als Schall-, Bewegungs- oder Buchstabenbilder gegenwärtig sind; es besteht mithin nur eine „Bewußtheit“ der Bedeutung des Wortes, während die Einzelheiten unbewußt bleiben. Es ist wohl keineswegs ausgeschlossen, daß die physiologische Grundlage dieser Bewußtheit eine isolierte Erregung einer sekundären Gehirnsphäre sei, und daß die Sinnessphären von hier aus erst dann erregt werden, wenn man sich den Inhalt in anschaulicher Form zu vergegenwärtigen sucht.

---

[1]) Ach: Die Willenstätigkeit und das Denken. Göttingen 1905. S. 210.

[2]) Titchener (Experimental psychology of the thought-processes. 1909, pag. 13) gibt an, daß seine abstrakten Vorstellungen auch Anschauungselemente enthalten, was gewiß eine Ausnahme ist.

Neunundfünfzigstes Kapitel.

Die affektiven und motorischen Reproduktionen.

Die affektiven Reproduktionen. Die Frage, ob es reproduzierte Gefühlstöne oder nur wiedererlebte Gefühle gebe, ist trotz vieler Diskussionen noch nicht beantwortet worden[1]). Vielleicht hat man sich deshalb nicht verständigen können, weil es nie genau angegeben worden ist, was eigentlich unter einem reproduzierten Gefühl zu verstehen sei, wie dieses sich von dem erlebten unterscheide. Tatsächlich kommen aber zwei wesentlich verschiedene Arten affektiver Reproduktionen vor, die ich nur als *vorgestellte* und *wiedererlebte* Gefühle bezeichnen kann. Die beiden Arten finden sich wohl bei allen Menschen, obwohl mit individuell äußerst verschiedener Häufigkeit; es will mir aber durchaus nicht einleuchten, in welcher Form die vorgestellten Gefühle bei den nicht-visuellen Individuen auftreten. Bei mir sind diese Reproduktionen völlig von Gesichtsbildern abhängig, und ich kann sie daher nur so darstellen, wie sie mir erscheinen[2]).

Recht häufig kommt es vor, daß die Vorstellung von einer Situation entsteht, in der ich früher eine Gemütsbewegung erlebt habe. Ich sehe die ganze Situation, die sich beteiligenden Personen und die äußeren Umstände sehr deutlich, und ich weiß, daß ich dabei emotionell stark erregt war. Dieses „Wissen“ tritt oft in der Form auf, daß ich mich selber, genau wie eine der anderen Personen, sehe, und dieses vorgestellte Ich zeigt zweifellose Affektäußerungen. Von dieser emotionellen Erregung fühle ich aber nur eine Spur; die ganze Angelegenheit geht mich nicht viel mehr an, als wenn sie eine mir unbekannte Person beträfe. Ich kann mitunter, wenn Scham, Zorn oder ähnliche Affekte vorgestellt werden, eine geringe Erwärmung der Gesichtshaut spüren, sonst sehe ich

---

[1]) Titchener: Feeling and attention. S. 61 u. 101.

[2]) Ribot (la psychologie des sentiments, 1896, pag. 148 u. f.) hat wohl als erster das Vorkommen der beiden verschiedenen Formen von reproduzierten Gefühlszuständen hervorgehoben, die er als die abstrakten und die konkreten Reproduktionen bezeichnet. Er basiert aber diese Sonderung nicht auf eigene Beobachtungen, sondern auf den Mitteilungen anderer, und da keiner seiner Mitteiler alle beide Formen zu kennen scheint, läßt es sich aus der gegebenen Darstellung nicht entscheiden, ob es sich um wirklich verschiedene Formen oder nur um mehr oder weniger zuverlässige Beobachtungen handelt.

mir aber die ganze Szenerie völlig kalten Blutes an. Es handelt sich also hier, wie leicht ersichtlich, um einen wesentlich intellektuellen Zustand, eine Vorstellung wie jede andere, die nur von einem schwachen Gefühlston begleitet ist.

Ganz anders stellt sich die Sache bei den wiedererlebten Gefühlen. Sie fangen wohl ungefähr auf dieselbe Weise an: die Vorstellung einer bestimmten Situation taucht auf. Das Ich wird aber gar nicht vorgestellt, es erlebt einfach die frühere Gemütsbewegung, die fast ebenso intensiv wie bei dem ursprünglichen Erlebnis werden kann. Die Gesichtsbilder der den Affekt veranlassenden Umstände werden dann bald nebelhaft, und nur die oft lange anhaltende Gemütsbewegung besteht. Bemerkenswert ist es übrigens, daß diese Affekte sich zuweilen wie die „gefrorenen Töne“ im Horne Münchhausens verhalten: sie werden zwar bei der ursprünglichen Gelegenheit veranlaßt, kommen aber erst später unter günstigeren Umständen zum Vorschein. Ein solcher Fall liegt vor, wenn man im Momente des Erlebnisses zu beschäftigt ist, um vom Affekte ergriffen zu werden. Beim Bergsteigen z. B. kommen exponierte Stellungen vor, wo man momentan Furcht und Schwindel spüren kann; in der Hitze der Aktion vergißt man indes sofort wieder das Gefühl. Taucht aber später die Erinnerung an diese Situation auf, so meldet sich mit erstaunlicher Stärke und Dauer die Gemütsbewegung, die man damals eigentlich nicht erlebte.

Ob die eine oder die andere Art der affektiven Reproduktionen vorherrscht, ist wohl wesentlich eine Sache der individuellen Veranlagung. Dieser Unterschied der Anlage ist sehr bedeutungsvoll; hiernach teilen sich die Menschen in die beiden Gruppen der Vulgärpsychologie: die Verstandes- und die Gefühlsmenschen. Die ohne ausgesprochenen Gefühlston reproduzierten Gefühle können den Vorstellungslauf kaum mehr als alle anderen Vorstellungen beeinflussen; die wiedererlebten Gefühle dagegen, die eigentlichen, affektiven Reproduktionen, erzeugen wechselnde Stimmungen, die dem Denken und Handeln solcher Menschen ein charakteristisches Gepräge geben. Es sind zweifellos besonders die Individuen dieses „affektiven Typus“, bei denen man die pathologische Erscheinung der verdrängten Affekte findet (vgl. Kap. 70). Die vorwiegend intellektuell veranlagten Individuen können gewiß auch gelegentlich Affekte wiedererleben; es kommt aber relativ selten vor, und die Neigung, die Affekte zu verdrängen, macht sich daher

wenig geltend, weil diese Zustände, selbst wenn sie peinlich sind, fast als Kuriosa betrachtet werden. Die affektiven Individuen dagegen, die bei jeder Gelegenheit Gefühle wiedererleben, suchen recht natürlich die unangenehmen Affekte willkürlich zu verdrängen, woraus dann die von der Freud'schen Schule untersuchten pathologischen Erscheinungen resultieren.

Die motorischen Reproduktionen wurden schon oben (S. 462) als Elemente der Wahrnehmungen und Vorstellungen erwähnt. Besonders die Sprechbewegungsbilder spielen, neben den Schallbildern der Worte, bei fast allen Menschen die außerordentlich wesentliche Rolle als Träger des abstrakten Denkens; nur in dieser Form können die Vorstellungen, die keine konkreten Dinge betreffen, festgehalten werden. Die Erinnerungsbilder anderer Bewegungsempfindungen treten zwar nur bei den speziell motorisch veranlagten Individuen deutlich hervor; es läßt sich aber experimentell ohne Schwierigkeit nachweisen, daß die Vorstellung von einer Bewegung oder die Vorstellung, die häufig mit einer Bewegung verbunden gewesen ist, sich überhaupt nicht festhalten läßt, ohne daß ein Zittern von der Form dieser Bewegungen zustande kommt. Diese Bewegungen werden ideomotorische genannt. (Carpenter 1852.)

Hängt man eine kleine Bleikugel oder eine Taschenuhr an einer Schnur auf und hält dieses Pendel mit ausgestrecktem Arm, so gerät dasselbe bald in Schwingungen, wenn die Armmuskeln nur nicht krampfhaft gespannt werden. Die Richtung und Form dieser Schwingungen sind völlig von den Vorstellungen abhängig, die man bei der Versuchsperson erweckt. Man führt z. B. den Finger unter dem Pendel langsam hin und her und spricht davon, daß es in dieser Richtung schwingen wird; es dauert nicht lange, so bemerkt man schon die Bewegung in die angegebene Richtung. Läßt man nun seinen Finger etwa eine kreisförmige Bewegung machen, so folgt das Pendel nach usw. Man kann den Versuch auf verschiedene Weise abändern: das Resultat wird stets dasselbe, weil die Ursache dieselbe ist: *Die Richtung der Bewegung wird durch die Vorstellung von einer bestimmten Bewegung bestimmt.*

Es sind übrigens, wie gesagt, nicht nur die Bewegungsvorstellungen, sondern auch Vorstellungen, die häufig mit Bewegungen verbunden gewesen sind, welche die Tendenz besitzen, die betreffenden Muskeln zu innervieren. Dies läßt sich vielleicht bei den Schreibbewegungen am einfachsten nachweisen. Die Vorstellungen von geschriebenen Buchstaben, Zahlen usw. sind stets von minimalen Bewegungen begleitet, die man nach einer von Preyer angegebenen Methode leicht aufgezeichnet erhalten kann[1]).

---

[1]) Preyer: Die Erklärung des Gedankenlesens. Leipzig 1886, S. 15. Lehmann: Aberglaube und Zauberei. 2. Aufl. Stuttg. 1908. S. 444 u. f.

Die angeführten Beispiele zeigen, daß die Muskeln, mittels deren die vorgestellte Bewegung ausgeführt wird, tatsächlich innerviert werden. Sobald aber die Muskelbewegungen eine gewisse Größe erreichen, wird man sich derselben auch durch direkt erregte Bewegungsempfindungen bewußt. *Die Erinnerungsbilder willkürlicher Bewegungen können daher immer nur schwach sein, weil sie unmittelbar in die Empfindungen der durch die Erinnerungsbilder hervorgerufenen Bewegungen übergehen.* Ohne Schwierigkeit kann man den ganzen Vorgang bei den Sprechbewegungen beobachten. Sucht man irgend eine Vorstellung festzuhalten, geht es auf die Dauer nicht ohne Sprechbewegungen. Diese entstehen unwillkürlich; man wird sich aber bald derselben bewußt, indem man sie einfach empfindet. Wird die Vorstellung fortwährend festgehalten, gehen die minimalen Sprechbewegungen schließlich in ein hörbares Flüstern über[1]).

Aus diesen verschiedenen Beobachtungen geht also hervor, daß eine Bewegungsvorstellung unauflöslich mit der Innervation der betreffenden Muskeln verbunden ist, und wenn die Bewegung, wie in den erwähnten Fällen, nicht ausgelöst wird, beruht es einfach darauf, daß sie durch andere gleichzeitige Vorstellungen gehemmt wird. Es ist ja eben bei diesen Versuchen die Aufgabe, eine gegebene Vorstellung festzuhalten und keine Bewegungen zu machen; trotz den Bestrebungen der Vp. zeigt es sich aber, daß sie dennoch entstehen. Wird die Hemmung aufgegeben, so werden die Bewegungen auch von den Vorstellungen ausgelöst. Beispiele solcher reproduzierten Bewegungen sind das oben (S. 456) erwähnte Schreiben oder das Klavierspielen eines geübten Musikers, dessen Finger mechanisch die Tasten finden, die von den Noten angegeben werden. Die Bedingungen derartiger Reproduktionen von komplizierten Bewegungen sind: erstens eine durch Übung zustande gebrachte feste Assoziation zwischen bestimmten Wahrnehmungen oder Vorstellungen einerseits und den betreffenden Bewegungsvorstellungen andererseits, und zweitens eine willkürliche „Einstellung“, wodurch die Reproduktion eingeleitet und im Geleise gehalten wird. Wie diese beiden Bedingungen zustande zu bringen sind, soll später erörtert werden (Kap. 62 u. 69); vorläufig interessiert uns nur die Tatsache der Reproduktion.

---

[1]) Hansen und Lehmann: Über unwillkürliches Flüstern. Phil. Stud. Bd. 11, 1895. S. 481.

Beim fertigen Schreiben und Spielen usw. werden zwar die einzelnen Bewegungen mechanisch, ohne besonders darauf gerichtete Aufmerksamkeit, ausgeführt; die Reproduktion der Bewegungen ist aber eine willkürliche, da sie nur durch eine willkürliche Einstellung zustande kommt. Es können aber auch Bewegungen, ebenso wie Vorstellungen irgend einer Art, unwillkürlich reproduziert werden. Wird mittels bestimmter Bewegungen ein Lustgefühl festgehalten oder ein Unlustgefühl aufgehoben, so wird sich schnell, nach wenigen Wiederholungen, eine feste Verknüpfung zwischen dem Gefühl und den betreffenden Bewegungen gebildet haben. Sobald sich das Gefühl wieder regt, ist damit ein *Streben*, eine Tendenz, die förderlichen Bewegungen zu reproduzieren, verbunden. Ob die Bewegungen aber wirklich ausgelöst werden, kann sowohl von inneren als von äußeren Bedingungen abhängig sein. Je stärker das Gefühl, um so stärker wird meistens auch die motorische Tendenz; es müßen aber fast immer zugleich gewisse äußere Bedingungen erfüllt sein, damit die Bewegungen reproduziert werden sollen. In den meisten Fällen bezwecken die Bewegungen nämlich, den Körper in bestimmte Beziehungen zu gewissen Dingen zu bringen. Wenn diese Dinge eben nicht vorhanden sind und sich auch nicht einfach zuwege bringen lassen, werden die Bewegungen zwecklos, und selbst das stärkste Gefühl wird dann schwerlich die Bewegungen reproduzieren. Der Hungrige, der sich ohne Lebensmittel in der Wüste befindet, wird wohl vorläufig die zum Essen nötigen Bewegungen nicht ausführen. Das mit dem Gefühl verbundene Streben wird also im Allgemeinen nur dann die Bewegungen hervorbringen, wenn etwas wahrgenommen wird, das, früheren Erfahrungen zufolge, das Streben befriedigen kann, so daß diese Wahrnehmung ebenfalls mit den bestimmten Bewegungen verknüpft worden ist. Indem gleichzeitig sowohl das Gefühl als die Wahrnehmung die Bewegungen reproduzieren, treten dieselben wirklich ein, was also ganz unwillkürlich stattfindet.

Ein Beispiel wird die Sache erläutern. Im Walde, wo ich täglich spazieren gehe, sind viele gefällte Bäume und Baumstumpfe, die zum Sitzen einladen. Im Vorübergehen kann ich, beim Anblick eines bequemen Sitzes, wohl die Spur einer motorischen Vorstellung merken, die meinen Gang indes nicht unterbricht und ein Sitzen nicht veranlaßt. Wenn ich etwa eine Stunde gegangen bin, werden meine Gedanken dann und wann von schwachen Müdigkeitsempfindungen durchsetzt, die die Vorstellung einer ruhenden Stellung reproduzieren: hierdurch wird aber auch keine diesbezügliche Be-

wegung ausgelöst. Plötzlich finde ich mich indes auf einem Stamme sitzend; unwillkürlich, ohne im geringsten daran zu denken, habe ich mich gesetzt, und indem ich den psychischen Vorgang nachzuspüren versuche, erinnere ich, daß ich mich eben müde fühlte in dem Momente, wo mein Blick auf den Stamm fiel. Dadurch wird die Sache verständlich. Weder das leise Müdigkeitsgefühl, noch der Anblick eines Baumstumpfes kann allein eine Bewegung hervorrufen; wenn aber die Bewegungsvorstellung des Sich-Setzens gleichzeitig von beiden Seiten reproduziert wird, dann tritt die Bewegung durch Summation der Erregungen ein.

Wenn ein Streben einige Male durch bestimmte, auf äußere Objekte oder Verhältnisse gerichtete Bewegungen befriedigt wird, assoziiert sich dadurch das Gefühl mit den Vorstellungen von diesen Objekten oder Verhältnissen. *Das Gefühl wird dann künftig nicht nur von dem Streben, der motorischen Tendenz, begleitet sein, sondern auch die Vorstellungen von den Objekten reproduzieren, auf welche das Streben gerichtet werden muß.* Ein solcher Zustand wird ein *Trieb* genannt. Als das *Objekt des Triebes* bezeichnet man die Gegenstände oder Verhältnisse, auf welche die Bewegungen gerichtet sind; der *Zweck des Triebes* ist das Festhalten oder die Beseitigung des vorhandenen Gefühls. Indem die Vorstellung vom Objekte des Triebes reproduziert und mithin bewußt wird, ist die Möglichkeit gegeben, daß das Individuum dieses Objekt suchen kann, wenn es eben nicht gegenwärtig ist. Auf diese Weise entstehen kompliziertere Bewußtseinszustände, die die Befriedigung des Triebes bezwecken; die Entwicklung dieser sogenannten Willenshandlungen kann indes erst später (Kap. 69 u. 88) erörtert werden. Gehen wir hier auf die Entstehung des Triebes etwas näher ein.

Das Hauptproblem in betreff der Entstehung der Triebe ist, wie die Verknüpfung des Gefühls mit den zweckmäßigen Bewegungen zustande kommt. Bei den allgemeinsten und wesentlichsten Trieben ist diese Frage relativ leicht zu beantworten, indem die Entwicklung überhaupt nicht im Leben des einzelnen Individuums stattfindet, sondern mit der Organisation des Nervensystems gegeben ist. Wenn ein bestimmtes Gefühl vorliegt, werden unter gewissen äußeren Bedingungen Bewegungen unmittelbar ausgelöst, wodurch das Gefühl festgehalten oder ausgeglichen wird; der Zweck dieser Bewegungen ist aber jedenfalls anfangs dem Individuum gänzlich unbekannt. *Ein solcher, auf angeborenen psychophysiologischen Dispositionen beruhender Trieb, der sämtlichen Individuen einer Art gemeinsam*

ist, wird ein Instinkt genannt. Das Problem von der Entstehung der Triebe ist in dem Falle, wo ein Instinkt, also eine erbliche Disposition vorliegt, zwar nur weiter zurückgeschoben. Wir können aber den Ursprung der Instinkte gar nicht nachspüren, weil diese Zustände mit dem körperlichen Bau gegeben sind. Es ist einfach absurd, die Frage zu erheben, wie es dem ersten, neugeborenen Säugetier eingefallen sei, bei seiner Mutter Nahrung zu suchen. Jedes Tier ist aus einem Mutterorganismus von annähernd demselben Bau hervorgegangen, und wo ein bestimmter organischer Bau vorliegt, sind dadurch bestimmte Bewegungen bedingt, die von gegebenen psychischen Zuständen ausgelöst werden. Indem sich der Bau bei der Variation der Arten verändert, unterliegen damit auch die zur Erhaltung der Individuen und der Geschlechter unbedingt notwendigen Bewegungen gewissen Veränderungen, so daß ein neugeborenes Individuum sich nie in der Lage hat befinden können, auf eigene Faust entdecken zu müssen, wie es z. B. sein Futter erhalten sollte.

Neben den Instinkten gibt es indes auch Triebe, die im Leben des Individuums entstanden sind, und hier wird es natürlich nicht unmöglich, dem Vorgang nachzuspüren, mittels dessen das Gefühl und die Bewegungen verknüpft werden. Beim Menschen ist dieser Vorgang aber in den meisten Fällen eine Leistung der Intelligenz: entstehen unter veränderten äußeren Bedingungen neue Bedürfnisse, werden alle Kräfte des Seelenlebens darauf eingesetzt, die Mittel zur Befriedigung der Bedürfnisse ausfindig zu machen. Wenn diese Mittel dann durch einen komplizierten Prozeß gefunden sind, kann man sie später durch einfachere Triebbewegungen erlangen. Das Tier baut zwar auch auf seine Erfahrungen, um Übelständen abzuhelfen, die unter neuen Verhältnissen entstehen; die Erfahrungen aber werden gewöhnlich nur zufällig geerntet, und die Verknüpfung des Gefühls mit bestimmten Bewegungen wird daher ein einfacher Assoziationsprozeß wie die unwillkürliche Bildung der Vorstellungsassoziationen.

Ein interessantes Beispiel dieser Art ist mir von einem Landwirte mitgeteilt. Beim „Stevns Klint“, im südöstlichen Teile Seelands, bildet die Küste auf einer längeren Strecke eine senkrechte, etwa 40 m hohe Wand. Das hier auf den Weiden frei umhergehende Rindvieh hat eine eigentümliche Gewohnheit angenommen. Wenn es aus Osten stürmt, kehrt das Vieh nicht, wie es sonst der Kühe Sitte ist, dem Winde den Schwanz zu; im Gegenteil, die Kühe gehen gegen den Wind, bis sie unmittelbar am Felsenrand

stehen. Hier ist nämlich selbst beim heftigsten Sturme Windstille. Die Luftmassen, die von der senkrechten Wand abprallen, steigen in die Höhe und bilden oberhalb des Felsenrandes einen undurchdringlichen Schirm. Erst etwa 10 m vom Rande wird die Macht des Sturmes merklich. Diese Entdeckung, daß am Felsenrande Windstille ist, können die Kühe selbstverständlich nur zufällig gemacht haben, und die Entwicklung des Triebes, sich hier zu sammeln, läßt sich dann etwa folgendermaßen denken. Einige Kühe können sich z. B. beim Anfang des Sturmes in der windstillen Region befunden haben. Es wächst aber daselbst nur wenig Gras, und des Futters wegen sind sie daher bald weiter ins Land hineingegangen, wo das schlechte Wetter sofort merklich wird, weshalb sie wohl möglichst bald zum geschützten Orte zurückgekehrt sind. In einigen Tagen, und so lange dauert ein Sturm gewöhnlich, können wohl selbst die nicht besonders intelligenten Kühe die Gewohnheit annehmen, das Wiederkauen am schützenden Felsenrand zu besorgen. Es haben sich also jetzt schon bei einigen Tieren sowohl die Unannehmlichkeit des Sturmes als der Anblick des Felsenrandes mit einer Bewegung in der Richtung des letzteren verbunden. Da Stürme nicht eben selten sind, wird die erworbene Angewohnheit bald wieder praktische Bedeutung haben und somit befestigt werden. Ahmen nun dann und wann einige Tiere diesen Bewegungen nach, so lernen sie auch die Vorteile des Aufenthaltsortes kennen, und schließlich sammelt sich dann beim Sturme die ganze Herde am Felsenrande.

Obwohl die Instinkte sich von den übrigen Trieben dadurch unterscheiden, daß das Individuum anfangs, wenn der Instinkt zum ersten Male tätig wird, die förderlichen Objekte nicht kennt, so zeigen dennoch zahlreiche Beobachtungen, daß die instinktiven Bewegungen nur von gewissen Wahrnehmungen ausgelöst werden, während sich ein bestimmtes Gefühl regt. Wenn z. B. das neugeborene Kind hungrig ist, wird die Muskulatur der Saugbewegungen innerviert; steckt man ihm dann irgend ein warmes, glattes Ding, z. B. einen Finger, in den Mund, fängt das Saugen an. Ist es aber satt, nimmt es die Brust nicht an, wenn es an dieselbe gelegt wird, und wenn es sich satt gegessen hat, hört das Saugen auf. Das instinktive Saugen ist also von den beiden Faktoren: dem Hungergefühl und der Empfindung eines warmen, glatten Dinges abhängig; nur wenn die beiden gegenwärtig sind, kommt die Bewegung zustande. Ist der hungrige Säugling aber mehrmals an die Brust gelegt worden, kann er schließlich Saugbewegungen machen, ohne an etwas zu saugen [1]). Die speziellen tierischen Instinkte verhalten sich ganz analog. Die Vögel z. B. brüten

[1]) Preyer: Die Seele des Kindes. Leipz. 1884. S. 190 u. f.

nur, wenn sie die Eier gelegt haben und ihre Temperatur eine außergewöhnlich hohe ist. Die Bruthenne brütet aber dann auch Porzellaneier, wenn man ihr solche statt ihrer eigenen unterlegt. Mit der hohen, wahrscheinlich unangenehmen Körpertemperatur ist eine mehr oder weniger bestimmte Tendenz des Sichlegens verbunden, und dieses Streben erhält eine bestimmte Richtung bei der Wahrnehmung der Eier, die eben dieselbe Bewegungsvorstellung reproduziert, womit die Handlung zustande kommt. In einigen Fällen kann es indes zweifelhaft erscheinen, ob ein bestimmter Gefühlszustand wirklich die notwendige Bedingung für die Auslösung der motorischen Reaktion ist. Bei der Neugier, bei den Kampf- und Abwehrinstinkten scheint jedenfalls oft ein Reiz die instinktive Reaktion hervorzurufen, ohne daß ein Gefühl im voraus zu bestehen braucht. Es würde ja zumal recht unzweckmäßig sein, wenn diese Instinkte nicht unter allen Umständen, sondern nur bei bestimmten Bewußtseinszuständen tätig werden könnten. Nichstdestoweniger verhält es sich, wenigstens bei den höheren Tieren, gewiß immer so, indem das Gefühl in solchen Fällen erst durch die Wahrnehmung des Objektes entsteht, auf welches die Bewegungen zu richten sind; einige Beispiele werden die Sache erläutern. Selbst so furchtsame Tiere wie das Reh und das Renntier flüchten sich fast nie sofort, wenn sie z. B. einen Menschen sehen; sie spitzen nur die Ohren und heben die Köpfe, um die Fährte zu wittern. Befinden sich die Tiere auf der Windseite, lufwärts, so daß sie nichts riechen können, und verhält man sich völlig ruhig, können sie lange so stehen bleiben; der leiseste Laut oder die geringste Bewegung genügt aber, um sie in die Flucht zu treiben. Die erste Wahrnehmung scheint also hier nur einen Gefühlszustand, eine Unruhe, zu erregen, die die Auslösung des Fluchtinstinktes durch einen ferneren Reiz ermöglicht, und auf ähnliche Weise sind wahrscheinlich stets mehrere Reize erforderlich, um einen Instinkt in Tätigkeit zu setzen. Ein Kätzchen flieht wohl immer vor einem großen Hunde, wenn es ihm möglich ist; sind aber alle Auswege gesperrt, erregt diese Wahrnehmung einen Gefühlszustand, der die notwendige Bedingung für die Auslösung des Kampfinstinktes ist, und das Tierchen wehrt sich. Der Umstand, daß in allen solchen Fällen das nämliche Objekt sowohl die Ursache des Gefühls als der Gegenstand des Triebes ist, hebt augenscheinlich die Tatsache nicht auf, daß *instinktive Be-*

wegungen nur von gewissen Reizen ausgelöst werden, während ein bestimmtes Gefühl sich regt.

Von diesem Satze ausgehend können wir verschiedene Gesetzmäßigkeiten des instinktiven Handelns leicht erklären.

Jedes Individuum, das sich bis zur Reife entwickelt, hat in den verschiedenen Perioden seines Lebens verschiedene Bedürfnisse, mit welchen die Strebungen und die instinktiven Handlungen wechseln. Der Säugling ist auf flüssige Nahrung angewiesen, weil er kein festes Essen kauen kann, und daher wird das Saugen unter bestimmten Umständen ausgelöst. Fehlt aber der zur Auslösung geeignete Gegenstand, wie wenn das Essen dem Kinde gleich von der Geburt an z. B. mit einem Löffel gegeben wird, so lernt das Kind später schwierig das Saugen. — In den ersten Lebensmonaten ist die Muskulatur des Kindes noch zu schwach, um einen selbständigen Ortswechsel zu erlauben; sobald sie aber stark genug ist, fängt das Kind instinktiv zu kriechen an, um an die umgebenden Gegenstande zu gelangen, um sie zu betasten und zu belecken. Wenn aber eine unzweckmäßige Kleidung die ersten Kriechversuche des Kindes verhindert, lernt es das Kriechen nicht, sondern rutscht z. B. sitzend umher. Bei größerer Reife wird das Kind vom Sitzen und vom Kriechen nicht mehr befriedigt, es strebt danach auf den Füßen zu stehen, und eines Tages, wenn ein Ding, dessen es kriechend nicht habhaft werden kann, seine Aufmerksamkeit fesselt, richtet es sich an einem Stuhle auf und erreicht nach einigen schwankenden Schritten das Ziel seiner Wünsche. So kommt das Gehen tatsächlich zustande, wenn es von selbst zur rechten Zeit eintritt; das mühevolle Gehenlernen ist nur eine Folge der voreiligen Bemühungen der Erwachsenen. — Wenn das Kind in dem Alter, wo es sonst mit den Gleichaltrigen zu spielen anfängt, keine Spielgenossen findet, lernt es leicht sich selbst zu beschäftigen, und wird dann später schwerlich mit andern Kindern spielen. — Auf analoge Weise treten die übrigen körperlichen und geselligen sowie die sexuellen Instinkte hervor, je nachdem Körper und Geist reifen. Allgemein findet man, daß *jeder Instinkt in einer bestimmten Periode hervortritt, wo die Entwicklung ihn erfordert, und diejenigen Instinkte, die nur für eine begrenzte Zeit Bedeutung haben, entwickeln sich gar nicht, wenn sie nicht zur rechten Zeit ihren Gegenstand finden*[1]).

[1]) James: Textbook of Psychology. London 1892. S. 402 u. f. Romanes: Die geistige Entwicklung im Tierreich. Leipzig 1885. S. 193.

Viele Instinkte können von verschiedenen Gegenständen in Tätigkeit versetzt werden. Wenn ein solcher Instinkt aber von einem bestimmten Gegenstande befriedigt worden ist, bildet sich leicht eine Gewohnheit, die die fernere Tätigkeit des Instinktes beschränkt. Ein junges Tier, das in der elterlichen Wohnung keinen Platz mehr findet, sucht sich sein eigenes Lager. Hat es dann eine befriedigende Wohnung gefunden, gewöhnt es sich leicht an diese Stelle, so daß es stets wieder zu derselben zurückkehrt: der Instinkt hat sich von den vielen möglichen Objekten auf diesen bestimmten Gegenstand beschränkt. — Wenn das Kind im Alter der Freundschaft seinen Busenfreund gefunden hat, schließt es sich später kaum einem anderen so eng an. Der Instinkt, der sich zweifellos von sehr verschiedenen Individuen befriedigen ließ, wird somit auf einen einzelnen beschränkt. Der Vorgang ist in diesem wie in allen analogen Fällen leicht verständlich. Es besteht in einem bestimmten Alter die instinktive Neigung, seine Gedanken und Gefühle einem Gleichgesinnten mitzuteilen. Ist der Freund gefunden, und hat man sich daran gewöhnt, ihm gegenüber sich auszusprechen, so ist sein Bild so fest mit dieser Neigung verknüpft, daß es sich sofort bei jeder Gelegenheit einstellt und den Freund zum Freunde treibt. Der Knabe wenigstens wird nur selten mehrere solche Freundschaften schließen. Wir können somit feststellen: *Die Tätigkeit eines Instinktes kann durch die Gewohnheit beschränkt werden, indem sich eine feste Assoziation zwischen dem Gefühl und einem bestimmten Gegenstand bildet*[1]).

Bei jedem Instinkt spielt, wie wir gesehen haben, ein Gefühl eine wesentliche Rolle, indem es eben der Zweck der instinktiven Bewegungen ist, das Gefühl festzuhalten oder auszugleichen. Dagegen steht natürlich nicht zu erwarten, daß auch jedem Gefühl ein besonderer Instinkt entspricht. Nur diejenigen gefühlsbetonten Empfindungen und Wahrnehmungen, die für die Erhaltung des Individuums und des Geschlechtes entscheidend sind, besitzen dadurch eine so allgemeine Bedeutung, daß sie erbliche psychophysiologische Dispositionen zu bestimmten Bewegungen herbeigeführt haben können. Diese Gefühle sind teils relativ einfache, lust- oder unlustbetonte Organempfindungen wie Hunger, Durst und die Sexualempfindungen, teils kompliziertere Erscheinungen, wie

[1]) Vgl. Lloyd Morgan: Instinkt und Gewohnheit. Leipzig 1909. S. 43 u. f.

diejenigen Gefühle, die durch die gegenseitige Beziehung von Individuen derselben oder verschiedener Arten erregt werden. Die meisten der letzteren Gefühle treten, wenn sie stark sind, als Gemütsbewegungen auf, und mit einem gewissen Rechte läßt sich daher behaupten, daß den meisten Gemütsbewegungen bestimmte Instinkte entsprechen[1]). Dies heißt aber nicht, wie Mc. Dougall anzunehmen scheint, daß die Gefühlszustände, die zweifellos allen Instinktäußerungen zugrunde liegen, wirklich als Gemütsbewegungen aufzufassen sind.[2]) Die Gemütsbewegungen, so wie sie im entwickelten menschlichen Bewußtsein auftreten, sind sehr komplizierte Zustände; es kann daher keine Rede davon sein, daß sie im kindlichen oder gar im tierischen Bewußtsein die nämlichen Formen annehmen können.

Schon ein primitiver Affekt wie die Furcht ist, als Gemütszustand, viel einfacher beim Kinde als beim Erwachsenen. Wenn ein kleines Kind, dem nie Gewalt angetan worden ist, beim Anblick eines seiner Brüder, der eine Maske trägt, schreiend davonläuft und sein Gesicht in die Schürze der Mutter verbirgt, so bezweifelt wohl niemand, daß das Kind sich fürchtet. Irgendwelche bestimmten Vorstellungen von einer Gefahr, vor der es sich zu fürchten braucht, sind aber gänzlich ausgeschlossen. Vom ganzen Affekt können somit nur die körperlichen Begleiterscheinungen, die instinktive Fluchtbewegung und die organischen Veränderungen, vorhanden sein, während die „Gemütsbewegung“ sich hier auf die unlustbetonte Wahrnehmung des maskierten Gesichts beschränkt. Wenn dieses Kind aber, dreißig Jahre später, abends spät auf der Landstraße, weit von menschlichen Wohnungen entfernt, zwei verdächtigen Personen begegnet, so wird die hierdurch erregte Gemütsbewegung einen ganz anderen Charakter haben. Zweifelsohne regt sich auch dann eine instinktive Neigung zur Flucht: der Gedanke aber, daß ein Überfall um so wahrscheinlicher wird, je mehr man seine Furcht zeigt, führt sofort zur willkürlichen Hemmung der Bewegungen. Der psychische Zustand und die unvermeidlichen organischen Begleiterscheinungen werden aber dadurch nur um so intensiver und komplizierter. Eine ganze Reihe gefühlsbetonter Vorstellungen: Erinnerungen an ähnliche, früher erlebte Situationen, die Folgen eines möglichen Überfalls, die zweckmäßigste Weise, einen Angriff abzuwehren usw., jagen durch das Bewußtsein und konstituieren nebst den organischen Begleiterscheinungen den sehr komplexen Zustand: die Furcht.

Ganz analoge Verhältnisse sind in den meisten anderen Fällen nachzuweisen. Der kindliche Zorn z. B. äußert sich gewöhnlich durch heftige instinktive Bewegungen; das wütende Kind beißt, kratzt und stößt mit dem Fuße. Von der tiefen Kränkung der Persönlichkeit,

---

[1]) Wundt: Vorlesungen über die Menschen- und Tierseele. Leipzig 1863. Bd. 2, S. 341. Lehmann: Hauptgesetze des Gefühlslebens. 1892. S. 141.

[2]) Mc. Dougal: Introduction to social Psychol. London 1909. S. 46 u. f.

die beim Erwachsenen den seelischen Inhalt dieser Gemütsbewegung bildet, kann dagegen nur eine Spur vorhanden sein. Der Zorn ist also beim Kinde, und in noch höherem Grade bei den Tieren, vielmehr ein instinktiver Kampftrieb als eine Gemütsbewegung; die Entwicklung geht auch hier in der Richtung, daß die instinktiven Bewegungen immer mehr nachlassen, indem gleichzeitig die psychische Erregung an Stärke und Umfang wächst. Dies alles schließt natürlich gar nicht aus, daß auch der Zorn des Erwachsenen sich gelegentlich einen instinktiven Ausdruck geben und zu einer körperlichen Züchtigung des Gegners führen kann.

Wir finden also durchweg, daß die Instinkte der Tiere und der Kinder relativ einfache psychische Zustände sind, die sich durch unmittelbare motorische Reproduktionen kundgeben; beim Erwachsenen dagegen treten die motorischen Reproduktionen weniger hervor, während der psychische Zustand komplizierter, das Gefühl — und damit die organischen Affektäußerungen — intensiver werden. Dieser Entwicklung, die sich kurz als einen Übergang vom Instinkt zu Affekt charakterisieren läßt, entspricht die häufig zu beobachtende Tatsache, daß bei einem gegebenen Individuum die instinktiven Bewegungen und die Affektäußerungen umgekehrt proportional sind [1]. Je mehr der Affekt „verbissen" wird, je weniger er sich gegen sein natürliches Objekt instinktiv entladen kann, um so mehr schwillt die Intensität des Gefühlszustandes und seiner organischen Begleiterscheinungen. Auch die Dauer des Affektes kann hierdurch über alle vernünftigen Grenzen hinauswachsen.

Die Instinkte entwickeln sich also einerseits, wie oben angedeutet, zu den sogenannten Willenshandlungen, andererseits zu den Affekten. Diese beiden Entwicklungen, die später (Kap. 83 u. 88) erörtert werden sollen, sind Wirkungen der Aufmerksamkeit, die uns im folgenden beschäftigen werden.

B. Psychische Tätigkeiten.

I. Die Aufmerksamkeit.

Sechzigstes Kapitel.

Konzentration und Ablenkung der Aufmerksamkeit.

Klarheits- und Stärkeveränderungen der Empfindungen. Darüber sind die Psychologen wohl jetzt im allgemeinen einig, daß die Lenkung der Aufmerksamkeit auf einen Zustand die

[1]) Lehmann: *Hauptgesetze des Gefühlslebens.* S. 142.

Wirkung hat, daß dieser Zustand einen höheren Bewußtseinsgrad erhält: die Empfindungen werden klarer, die Wahrnehmungen und Vorstellungen deutlicher und lebhafter[1]). Was dies eigentlich heißt, läßt sich nicht näher angeben; es ist eine jedem normalen Menschen unmittelbar bekannte Tatsache der inneren Erfahrung. Die genauere Beobachtung zeigt indes, daß zwei wesentlich verschiedene Bewußtseins- oder Klarheitsgrade unterschieden werden können. Lenkt man die Aufmerksamkeit z. B. auf irgendeinen Punkt des Gesichtsfeldes, sind die in der Peripherie des Feldes zu beobachtenden Dinge ganz unklar; man weiß eben, *daß etwas da ist, dagegen nicht was da ist.* Die dem Fixationspunkte näher liegenden Dinge sind schon so klar, daß man weiß, *was man sieht.* Diese wiedererkannten Dinge sind gewiß um so deutlicher, je näher sie dem Fixationspunkte liegen, wo die größte Klarheit herrscht; es handelt sich hierbei aber nur um Gradunterschiede. Der wesentlichste Unterschied der Klarheit besteht zwischen den Wahrnehmungen, die unbekannt, und denjenigen, die bekannt erscheinen. Die Bekanntheit setzt einen gewissen Klarheitsgrad voraus, oder ein höherer Klarheitsgrad tritt mit der Bekanntheit der Wahrnehmungen ein. Wenn dieser Punkt erreicht worden ist, können die Wahrnehmungen bei darauf gelenkter Aufmerksamkeit zwar noch „deutlicher" werden, d. h. sie können vollständiger gedeutet werden, so daß immer mehr Einzelheiten hervortreten; von einer sprungweisen Veränderung, so wie wenn sie als bekannt hervortreten, ist dabei keine Rede.

Erst durch das Aufmerken treten also die Dinge als bekannt hervor; unbekannte Dinge aber können trotz allem Aufmerken durchaus nicht klar werden. Wenn zwei Personen eine mir ganz unbekannte Sprache sprechen, so höre ich nur ein unverständliches Gemurmel, aus welchem sich einige charakteristische und häufiger wiederholte Laute hervorheben. Selbst die stärkste Anspannung der Aufmerksamkeit verändert hierbei nichts; ich sitze den Personen so nahe, daß gewiß kein Laut meinem scharfen Ohr entgeht, dennoch ist und bleibt das Gehörte ebenso unklar und verworren wie das in der Peripherie des Gesichtsfeldes gesehene. Lenke ich einen Augenblick meine Aufmerksamkeit auf die entfernter sitzenden Personen, die meine Muttersprache reden, ist mir das Gespräch

[1]) Titchener: Feeling and Attention. S. 182 u. f.

sofort klar, obschon ich nur die Hälfte höre. Diese Verhältnisse sind den oben (S. 461) erwähnten unbekannten Wahrnehmungen der photographischen Negative ganz analog. Solange das Bild unbekannt bleibt, ist es trotz aller Aufmerksamkeit nur ein unklares Gemisch heller und dunkler Flecken; von einer gewissen Klarheit kann erst in dem Augenblick die Rede sein, wo es bekannt erscheint. Diese Beobachtungen zeigen also:

Das Unbekannte ist und bleibt trotz gespanntester Aufmerksamkeit immer unklar, verworren, undeutlich. Den ersten Klarheitsgrad erreicht eine Wahrnehmung oder Vorstellung, indem sie als bekannt hervortritt; wird sie bei größerer Aufmerksamkeit noch klarer, treten nur mehr Einzelheiten hervor, ohne daß dadurch eine wesentliche Veränderung des Zustandes bewirkt wird.

Es besteht also zweifellos eine enge Beziehung zwischen Bekanntheit und Klarheit der Zustände; es fragt sich jetzt, worauf diese beruht. Wir sahen oben (S. 462 u. f.), daß die Bekanntheit eines Zustandes von reproduzierten Vorstellungen herrührt, die sich übrigens keineswegs über die Schwelle des Bewußtseins zu erheben brauchen. Hat sich eine Empfindung nur einige Male wiederholt, ist sie schon mit einer ganzen Reihe näherer und entfernterer Umstände assoziiert, und indem dieser „Inhalt“ mitklingt, wenn die Empfindung wieder erregt wird, erhält der Zustand die eigentümliche Färbung, die wir als Bekanntheit bezeichnen; die Empfindung ist aber dann auch klar. Bei abgelenkter Aufmerksamkeit wird der Inhalt der Empfindungen nicht reproduziert; dann geht ihnen auch die Klarheit ab, und sie werden nicht wiedererkannt. Bei immer stärkerer Konzentration der Aufmerksamkeit wächst zwar die Bekanntheit nicht, dagegen wohl die Klarheit, indem Bestimmungen, die sonst nicht reproduziert werden, jetzt mitklingen, während andere Teile des Inhaltes gar bewußt hervortreten. Die enge Verwandtschaft zwischen Klarheit und Bekanntheit der Empfindungen, die uns die Selbstbeobachtung zeigt, läßt sich also auf die Weise erklären, daß die Bekanntheit einfach eine spezielle Bezeichnung eines bestimmten Klarheitsgrades ist. Die physiologische Grundlage der Empfindungsklarheit wird somit dieselbe wie die der Bekanntheit, nämlich die zahlreichen Vorgänge, die von der Empfindung reproduziert werden können. Wie die Art, die Stärke und die Ausdehnung hat somit auch die Klarheit der Empfindungen ihre besondere physiologische Ursache.

Es erhebt sich jetzt die Frage, warum die Lenkung der Aufmerksamkeit auf irgendeine Empfindung die Reproduktion des Empfindungsinhaltes bewirkt. Die Beantwortung derselben würde nicht schwierig sein, wenn wir von der oben (S. 403) aufgestellten Annahme ausgehen dürften, daß es sich bei der Lenkung der Aufmerksamkeit auf einen Zustand einfach um eine Bahnung des betreffenden Vorganges und eine gleichzeitige Hemmung aller anderen handelte. Eine einfache Konsequenz dieser Annahme ist aber, daß die Aufmerksamkeit eine Verstärkung der betreffenden Empfindung herbeiführt, indem die Bahnung eines Zustandes zuvörderst durch eine höhere Intensität desselben merklich wird. Es fragt sich also, ob eine solche Wirkung der Aufmerksamkeitskonzentration sich nachweisen lasse.

In betreff der Vorstellungen, der Erinnerungsbilder, kann es keinem Zweifel unterliegen, daß viele Menschen imstande sind, durch Konzentration der Aufmerksamkeit diesen Zuständen fast den Charakter sinnlicher Wahrnehmungen zu geben. Die meisten Angaben dieser Art beziehen sich auf Erinnerungsbilder bekannter Dinge, die bei geschlossenen Augen fast so hervortreten können, als ob sie wirklich gesehen würden [1]. — Den Erinnerungsbildern einfacher Farben kann ich z. B. sehr leicht eine bedeutende Stärke geben, wenn die Netzhaut nur im voraus so weit dunkeladaptiert ist, daß keine störenden Nachbilder sich hineinmischen. Die Bilder treten stets als zirkuläre Felder auf, etwa von der Größe des Gesichtsfeldes meines Spektrophotometers; ich kann sie aber nach Belieben größer oder kleiner und auch leicht quadratisch machen. Versuche ich es aber, den Farbenbildern kompliziertere Formen zu geben, büßen sie immer an Stärke ein. Ein solcher Stärkeunterschied tritt besonders deutlich hervor, wenn ich ein zirkuläres Feld in ein größeres quadratisches umwandle; die hinzugefügten Ecken sind dann immer dunkler als die Zentralpartie. — Geruchsvorstellungen können ebenfalls auf diese Weise bei vielen Menschen „halluzinatorisch“ werden, was durch den folgenden Versuch dargetan erscheint. Ich setzte 5 verschiedenen Personen je 8 Flaschen vor; von diesen 8 Flaschen enthielt die eine nur die Spur einer Menthollösung, während die übrigen absolut geruchlos waren. Hiervon wußten die Versuchspersonen indes nichts; ihre Aufgabe war, die Namen der vermuteten

[1] Fechner: Elemente der Psychophysik. Leipzig 1860. Bd. 2, S. 483 u. f.

schwachen Gerüche anzugeben. Von den 40 Urteilen waren nur 19 negativ (kein Geruch); in den übrigen 21 Fällen wurden bekannte Gerüche genannt. Da aber tatsächlich nur in 5 Fällen eine objekte Ursache vorhanden war, sind also 16 Mal die Geruchsvorstellungen mit Empfindungen verwechselt worden.

Wie es sich dagegen bei Empfindungen verhält, ist bisher nicht entschieden worden. Während einige Forscher der Ansicht sind, daß sie eine Verstärkung schwacher Empfindungen durch die Aufmerksamkeit beobachten können, behaupten andere das Gegenteil [1]). Die Tatsache, daß es selbst bei der größten Anspannung der Aufmerksamkeit nicht gelingt, die eine Hälfte eines grauen Papiers heller als die andere aufzufassen, läßt sich, wie Pillsbury mit Recht hervorhebt, dadurch erklären, daß der Vergleich der beiden Hälften eine Lenkung der Aufmerksamkeit auf die bisher unaufmerksam beobachtete Hälfte erfordert, wodurch der Versuch einfach scheitert. Da die bisher vorliegenden Versuche mit Tönen als Vergleichsempfindungen und Gerüchen als Ablenkungsempfindungen ebenfalls nicht ausreichen, um die Sache zu entscheiden [2]), habe ich eine solche Versuchsreihe größeren Umfanges durchgeführt.

Die Anordnung dieser Versuche war sehr einfach. Die zu vergleichenden Empfindungen waren Momentanschalle, durch fallende Stahlkugeln hervorgebracht (S. 438). Der Normalreiz war konstant 256 der oben erwähnten Einheiten und ging stets dem Vergleichsreize voraus; das Intervall der beiden Reize war konstant 4,5 Sek., was sich mit großer Genauigkeit einhalten ließ, da die Reize mittels eines Kondaktpendels automatisch ausgelöst wurden. Gearbeitet wurde nach der Konstanzmethode mit auf- und absteigenden Reihen von Vergleichsreizen. Sowohl diese Reize als ihre Differenzen wechselten in den verschiedenen Reihen, so daß die Methode eine unwissentliche war. Jede auf- und absteigende Reihe enthielt zehn Vergleichsreize. Es wurden vier verschiedene Versuche so durchgeführt, daß der Einfluß der Übung als eliminiert anzusehen ist.

I. Die beiden Schallreize wurden einfach verglichen. Etwa 2 Sek. vor dem Auslösen des Normalreizes sagte der Versuchsleiter „Jetzt“, und die Instruktion ging darauf aus, die Aufmerksamkeit auf den Normalreiz zu lenken und diese Empfindung festzuhalten, bis der Vergleichsreiz gehört wurde. 48 Reihen zu je 10 Bestimmungen wurden bei dieser Anordnung mit jeder Versuchsperson ausgeführt.

II. Anordnung und Instruktion wie bei I, nur mit dem Unterschiede, daß die Versuchsperson, etwa 2 Sek. nach dem Normal-

[1]) Pillsbury: Attention. S. 2 u. f.

[2]) Titchener, a. a. O. S. 36 u. f.

reize, eine in Bereitschaft stehende, einen Riechstoff enthaltende Flasche unter die Nase hielt und ihre Aufmerksamkeit darauf konzentrierte, so daß sie vom Vergleichsreiz möglichst abgelenkt war. Die Schallempfindungen wurden wie vorher verglichen, 32 Versuchsreihen zu je 10 Bestimmungen ausgeführt. Da angenehme Geruchsreize gewöhnlich nur schwach sind, und die unangenehmen vorsichtig in passender Entfernung von der Nase gehalten wurden, waren sämtliche Ablenkungsreize durchgängig recht schwach.

III. Alle Verhältnisse genau wie bei II, nur wurde statt der Geruchsreize als Ablenkungsreiz das Ticktack einer in ein Tuch gehüllten Taschenuhr angewandt. Dieser Reiz war nur eben merklich.

IV. Bei diesem Versuch wurde die Aufmerksamkeit vom Normalreize mittels Gerüche abgelenkt. Die Flasche wurde beim „Jetzt" des Versuchsleiters unter die Nase gehalten und die Aufmerksamkeit darauf gelenkt. Etwa 2 Sek. nach dem Normalreize wurde die Flasche entfernt und die Aufmerksamkeit auf den zu erwartenden Vergleichsreiz gerichtet. Die Anzahl der Bestimmungen war dieselbe wie im Versuch II.

Auf die Bearbeitung des Versuchsmaterials kann hier nicht eingegangen werden; die allgemeine psychologische Grundlage derselben soll später (Kap. 66) erörtert werden; die mathematischen Prinzipien der Behandlung finden sich in meiner psychologischen Methodik.

Drei Versuchspersonen beteiligten sich an diesen Versuchen, von welchen *E. R.* und *A. L.* sehr geübt, *K. K.* dagegen ganz ungeübt waren. Aus den Versuchsergebnissen läßt sich die Größe r_2 des Vergleichsreizes berechnen, die dem Normalreiz $r = 256$ gleich beurteilt wurde, und daraus ferner die Größe der Bahnung ϱ nach Gleich. 54. In der Tab. 35 sind die Werte r_2 und ϱ der drei Versuchspersonen bei den verschiedenen Versuchen angeführt.

Tabelle 35.

	Art der Versuche	*A. L.*		*E. R.*		*K. K.*	
		r_2	ϱ	r_2	ϱ	r_2	ϱ
I.	Ohne Ablenkung	192,6	0,247	177,6	0,306	203,6	0.205
II.	2′ Schall durch Geruch gestört	214,0	0,164	202,9	0,207	202,5	
III.	2′ „ „ Schall „	205,2	0,198	195,8	0,235	196,8	
IV.	1′ „ „ Geruch „	202,7	0,121	185,1	0,174	180,2	0,195

Vergleichen wir vorläufig nur die Werte r_2 der geübteren Versuchspersonen *E. R.* und *A. L.*, so zeigen die Versuche I und II, daß r_2, wenn die Aufmerksamkeit von diesem Reize abgelenkt wird, bedeutend vergrößert werden muß, um dem unter unveränderten Verhältnissen aufgefaßten Normalreiz r gleich zu erscheinen. Bei abgelenkter Aufmerksamkeit hat für *A. L.* der Reiz $r_2 = 214{,}0$ dieselbe Wirkung wie $r_2 = 192{,}6$ bei gespannter Aufmerksamkeit: man kann also sagen, daß die Ablenkung denselben Erfolg habe, als ob der Reiz auf $\frac{192{,}6}{214{,}0} = 0{,}900$ seiner Größe reduziert würde.

Für *E. R.* findet man $\frac{177,6}{202,9} = 0,876$, also fast dieselbe Herabsetzung. Wird die Aufmerksamkeit durch minimale Schallreize abgelenkt (Versuch III), findet ebenfalls eine, jedoch kleinere Verminderung der Empfindungsstärke statt, indem r_2 hier zwischen den Werten der beiden ersten Versuche liegt. — Betrachten wir darauf den Versuch IV, wo die Aufmerksamkeit von r, genau wie vorher von r_2, mittels Gerüche abgelenkt wurde, so wäre eigentlich hier zu erwarten, daß r_2 kleinere Werte als im Versuch I erhalten würde. Für *A. L.* wird nämlich $r = 256$ auf $0,9 \cdot 256 = 230,4$, für *E. R.* auf $0,876 \cdot 256 = 224,0$ reduziert, so daß der diesem Normalreize gleich erscheinende Vergleichsreiz r_2, der mit gespannter Aufmerksamkeit aufgefaßt wird, kleiner als im Versuch I gefunden werden müßte. Dies würde jedoch nur unter der Voraussetzung richtig sein, daß der Bahnungskoeffizient ϱ davon unabhängig wäre, daß die Aufmerksamkeit von der einen oder der anderen Empfindung abgelenkt würde. Aus Tab. 35, II u. III, geht aber hervor, daß ϱ kleiner ausfällt, wenn die Aufmerksamkeit von der zuzweit eintretenden Empfindung abgelenkt wird. Die Lenkung der Aufmerksamkeit beeinflußt mithin aller Wahrscheinlichkeit nach nicht nur die psychophysiologischen Vorgänge, sondern auch die Nervenleitungen, so daß ebenfalls die Bahnung der folgenden Empfindungen beeinträchtigt wird. Der Gleich. $r_2 = r \cdot (1 - \varrho)$ zufolge ist ersichtlich, daß man r_2 vergrößern muß, wenn ϱ abnimmt. Die relativ hohen Werte des r_2 im Versuch IV können also einfach davon herrühren, daß die Bahnung kleiner geworden ist. Berechnet man ϱ aus der obigen Gleichung, indem $r = 230,4$ resp. $224,0$ und $r_2 = 202,7$ resp. $185,1$ gesetzt werden, so erhält man die in Tab. 35, Reihe IV angegebenen Werte des ϱ.

Aus den Versuchen gehen also die folgenden Resultate hervor. Wird die Aufmerksamkeit von dem zuzweit eintretenden Vergleichsreize abgelenkt, muß dieser Reiz erheblich vergrößert werden, um dem Normalreiz gleich zu erscheinen. Wird die Aufmerksamkeit dagegen von dem zuerst eintretenden Normalreiz abgelenkt, muß der Vergleichsreiz zwar auch, aber nur wenig vergrößert werden, was wahrscheinlich von der gleichzeitigen, bedeutenden Herabsetzung der Bahnung herrührt. Diese Vergrößerung des Vergleichsreizes schließt also gar nicht aus, daß die zuerst eingetretene Empfindung durch die Ablenkung der Aufmerksamkeit schwächer geworden ist. Da sich keine andere widerspruchslose Erklärung der Versuchsresultate geben läßt, dürfen wir also zweifellos behaupten: *Durch die Ablenkung der Aufmerksamkeit von einer gegebenen Empfindung wird ihre Stärke vermindert.*

Die Zahlen der Versuchsperson *K. K.* sind in Tab. 35 angeführt, teils um zu zeigen, wie wenig man in schwierigen Fragen auf den Bestimmungen ungeübter Versuchspersonen bauen kann, teils

um eine nicht genauer untersuchte Sonderbarkeit der Aufmerksamkeitskonzentration nachzuweisen. *K. K.* hat in den drei ersten Versuchsreihen fast übereinstimmende Werte des r_2; die Ablenkung hat also hier gar keine Wirkung gehabt, d. h. obwohl er die Instruktion zu befolgen glaubte, hat er tatsächlich gar nicht seine Aufmerksamkeit auf die ablenkenden Reize gerichtet. Bei ungeübten Versuchspersonen ist es nichts Ungewöhnliches, daß sie eine plötzliche Richtungsveränderung nicht willkürlich vornehmen können. Im Versuch IV war die Aufmerksamkeit vom Anfang ab auf die Geruchsempfindung konzentriert, so daß hier der Normalreiz r zweifellos eine relativ schwache Empfindung erregt hat, womit der kleine Wert des r_2 übereinstimmt. Da r_2 aber viel kleiner als bei den drei anderen Versuchen ist, muß die Bahnung trotz der Ablenkung der Aufmerksamkeit recht groß gewesen sein. Unter der Voraussetzung, daß der Normalreiz durch den gleichzeitigen Geruchsreiz auf $0{,}876 \cdot 256 = 224$ herabgesetzt worden ist, wird $\varrho = 0{,}195$, also fast ebenso groß wie ohne Ablenkung (0,205). Wie dies aber möglich ist, darüber können nur Vermutungen aufgestellt werden; am wahrscheinlichsten scheint mir die folgende. Die recht musikalische Vp. konnte ohne Schwierigkeit das Erinnerungsbild der vom Normalreiz erregten Empfindung reproduzieren. Im Versuch IV hat er vielleicht dies getan, sobald der Geruchsreiz aufhörte und dadurch dem ϱ einen relativ großen Wert gegeben. Die Richtigkeit dieser Erklärung ließ sich nicht prüfen, da die beiden geübteren Versuchspersonen außerstande waren, Schallerinnerungsbilder willkürlich zu reproduzieren. Es wäre vielleicht der Mühe wert, zu untersuchen, wie r_2 und ϱ sich durch solche Reproduktionen modifizieren lassen.

Es fragt sich jetzt, wie weit die Stärke einer von einem gegebenen Reize erregten Empfindung durch die Ablenkung der Aufmerksamkeit herabgesetzt werden könne. Da die Aufmerksamkeit in den erwähnten Versuchen auf die Geruchsempfindung möglichst stark konzentriert war, können die Schallempfindungen auf diese Weise gewiß nicht mehr an Stärke abnehmen, und man muß es dahingestellt sein lassen, ob eine fernere Verminderung durch stärkere Geruchsempfindungen zu erzielen ist. Dagegen kann es keinem Zweifel unterliegen, daß eine viel größere Herabsetzung der Empfindungsstärke durch eine psychische Tätigkeit erreicht werden könnte, die die Aufmerksamkeit mehr in Anspruch genommen hätte. Man kann sich, wie bekannt, in eine Arbeit so vertiefen, daß selbst starke Reize überhaupt keine Empfindungen erregen. Es ist experimentell nachgewiesen worden, daß sogar ein unangenehm starker Temperaturreiz keine merkliche Empfindung erregen konnte, wenn gleichzeitig eine schwierige Rechenaufgabe im Kopfe gelöst wurde [1]). Im allgemeinen können aber

[1]) Lehmann: Körperliche Äußerungen psych. Zustände. I Teil, S. 156.

schwache Reize viel leichter als starke unbemerkt bleiben. Aus diesen Tatsachen geht also hervor: *Die Stärke einer von einem gegebenen Reize erregten Empfindung ist ganz und gar davon abhängig, wie stark die Aufmerksamkeit durch andere gleichzeitige Bewußtseinserscheinungen ablenkt wird. Bei völlig abgelenkter Aufmerksamkeit kann die Empfindung unbemerkt bleiben, und dies um so leichter, je schwächer der Reiz ist, und die Empfindung erreicht ihre volle Stärke nur, wenn die Aufmerksamkeit auf dieselbe konzentriert wird.*

Wenn die Empfindungsstärke durch Ablenkung der Aufmerksamkeit abnimmt, kann man natürlich auch gern sagen, daß sie durch Konzentration der Aufmerksamkeit zunimmt. Diese Fassung des Satzes ist aber äußerst unzweckmäßig. Dann erheben sich nämlich Fragen wie die folgenden: Welchen Zuwachs erhält eine gegebene Empfindung durch die darauf konzentrierte Aufmerksamkeit? Wenn die Aufmerksamkeit auf zwei nur intensiv verschiedene Empfindungen gelenkt wird, wachsen sie dann um dieselbe absolute oder um gleiche relative Größen?

Solche Fragen, die vielfach diskutiert worden sind [1]), müssen einfach in Konfusion endigen, weil sie von der falschen Voraussetzung ausgehen, daß ein Reiz, ohne Rücksicht auf die Aufmerksamkeit, eine Empfindung bestimmter Stärke erregen kann; nur dann hat es einen Sinn zu fragen, um welche Größe die Aufmerksamkeit eine solche Empfindung verstärken könne. Diese Voraussetzung ist aber entschieden unrichtig; die Erfahrung lehrt, wie im obigen Satze festgestellt, daß eine Empfindung, ohne Rücksicht auf die Reizstärke, auf Null reduziert wird, wenn die Aufmerksamkeit ausgeschaltet, völlig abgelenkt ist. Als Stärke einer Empfindung oder Größe einer psychischen Leistung läßt sich schlechthin nur diejenige bezeichnen, die bei völlig darauf konzentrierter Aufmerksamkeit zustande kommt, wie es auch bisher bei allen psychophysischen Untersuchungen als selbstverständlich vorausgesetzt worden ist. Dann kann es aber auch die Aufgabe werden, zu untersuchen, wie diese Stärke sich bei einer bestimmten Ablenkung der Aufmerksamkeit verändert. Die Frage wird also zu beantworten sein: In welchem Verhältnis wird die Intensität *A* eines Zustandes herabgesetzt, wenn die Aufmerksamkeit durch den Zustand *B* abgelenkt wird? Was sich hierüber hat feststellen lassen,

[1]) Titchener, a. a. O. 214. Pillsbury, a. a. O. S. 3.

wenn die ablenkenden Zustände Empfindungen sind, haben wir schon gesehen; im folgenden gehen wir auf die Untersuchungen über analoge Wirkungen anderer Zustände ein. Zuvörderst versuchen wir aber, die schon dargestellten Tatsachen zu erklären.

Erklärung dieser Veränderungen. Nach dem Angeführten kann es keinem Zweifel unterliegen, daß die Aufmerksamkeit die Stärke der Empfindungen und Vorstellungen beeinflussen kann; mit der Ablenkung der Aufmerksamkeit von einem gegebenen Zustande geht eine Intensitätsverminderung desselben einher, und umgekehrt wächst seine Stärke, wenn die Aufmerksamkeit auf denselben konzentriert wird. Diese psychischen Veränderungen lassen sich, wie schon früher (S. 403) hervorgehoben, einfach als Hemmungs- und Bahnungserscheinungen auffassen.[1]) Was wir als Lenkung der Aufmerksamkeit auf eine bestimmte Erscheinung bezeichnen, beruht unserer Ansicht nach auf einem vorläufig unbekannten Gehirnvorgang, der den betreffenden psychophysiologischen Prozeß anbahnt. Bis auf weiteres (vgl. S. 509) können wir es dahingestellt sein lassen, welcher Art dieser unbekannte bahnende Vorgang ist, und ebenfalls, warum in einem gegebenen Momente dieser und nicht ein beliebiger anderer Vorgang angebahnt wird. Wir werden im folgenden diese Fragen zu beantworten suchen; vorläufig gehen wir nur davon aus, daß die Lenkung der Aufmerksamkeit auf eine Bewußtseinserscheinung einem von einer unbekannten inneren Ursache X ausgehenden Vorgang entspricht, wodurch der psychophysiologische Prozeß angebahnt wird. Unter dieser Voraussetzung können wir die Stärke- und Klarheitsveränderungen der Empfindungen und Vorstellungen leicht erklären.

Jede Erregung ist, wie wir wissen, zugleich eine Hemmung, indem sie andere Erregungen stört. Wenn also die Aufmerksamkeit auf eine Erscheinung A gelenkt wird, d. h. wenn die unbekannte Ursache X den psychophysiologischen Vorgang A anbahnt, müssen dadurch gleichzeitig andere Vorgänge, z. B. B, gehemmt werden. Die Ablenkung der Aufmerksamkeit von einem Zustand ist einfach eine Hemmung desselben durch einen anderen. Je stärker der Aufmerksamkeitsprozeß, A von X angebahnt ($A \leftarrow X$), wird, um so stärker wird B gehemmt,

---

[1]) Exner: Physiol. Erklärung der psychischen Erscheinungen. Wien 1894. S. 163 u. f.

und es ist somit physiologisch sehr wohl möglich, daß B sich wegen dieser Hemmung über die Schwelle des Bewußtseins nicht zu erheben vermag. Um vollständig gehemmt zu werden, erfordert eine gegebene Erscheinung B natürlich einen um so stärkeren Hemmungsvorgang $A \leftarrow X$, je größer ihre eigene Intensität ist; aber selbst wenn B nicht vollständig gehemmt wird, muß ihre Stärke jedenfalls durch den Vorgang $A \leftarrow X$ herabgesetzt werden. Unsere Auffassung, daß die Lenkung der Aufmerksamkeit ein Bahnungsvorgang ist, kann somit die durch Ablenkung der Aufmerksamkeit stattfindenden Intensitätsveränderungen leicht erklären. Die Theorie kann übrigens, wie wir im folgenden sehen werden, mit bezug auf die Ablenkungserscheinungen viel mehr leisten; vorläufig gehen wir auf die Klarheitserscheinungen etwas näher ein.

Um das Nervensystem zu erregen, muß jeder Reiz einen gewissen Schwellenwert überschreiten. Ein zentraler Vorgang, der einen anderen auslöst, verhält sich dem letzteren gegenüber als ein Reiz und muß daher ebenfalls eine gewisse Stärke haben. Die Reproduktion einer Vorstellung erfordert also, daß der reproduzierende Zustand einen Schwellenwert überschreitet, der gewöhnlich um so niedriger liegen kann, je fester die Zustände assoziiert sind. Bildet ein Zustand mit mehreren anderen Zuständen Assoziationen verschiedener Festigkeit, steht mithin zu erwarten, daß diese Zustände bei wachsender Intensität des reproduzierenden nach und nach erregt werden. Eine Empfindung, die wegen abgelenkter Aufmerksamkeit nur eine äußerst geringe Stärke hat, wird daher keine oder nur ganz wenige Vorstellungen reproduzieren können, d. h. sie bleibt unbekannt, unklar. Sobald sie aber bei größerer Konzentration der Aufmerksamkeit eine gewisse Stärke erhält, werden die fester assoziierten Vorstellungen, der wesentliche „Inhalt" der Empfindung, reproduziert; die Empfindung tritt als bekannt und damit relativ klar hervor. Eine noch größere Konzentration der Aufmerksamkeit kann nur noch die Zahl der reproduzierten Vorstellungen und damit die Klarheit vergrößern.

Den Wahrnehmungen analog verhalten sich die Erinnerungsbilder, nur treten bei Konzentration der Aufmerksamkeit auf dieselben die Veränderungen der Stärke mehr hervor als die der Klarheit, Lebhaftigkeit. Dies rührt wohl im allgemeinen davon her, daß die Vorstellungen stets von anderen Zuständen, auf die die Aufmerksamkeit gelenkt ist, reproduziert werden und

daher eine geringe Intensität haben, während ihre Klarheit schon bei der Reproduktion erheblich sein kann, indem die betreffenden Bestimmungen gleichzeitig reproduziert werden. Lenkt man dann die Aufmerksamkeit ausschließlich auf das Erinnerungsbild, so wächst seine Stärke bald bedeutend; viel klarer kann es aber gar nicht werden.

Ein Beispiel wird zur Erläuterung dieses Verhältnisses beitragen. Wenn ich z. B. irgendeine Farbe mit sinnlicher Stärke zu reproduzieren wünsche, muß ich immer damit anfangen, mir die ganze Umgebung vorzustellen, wo ich die betreffende Farbe gewöhnlich sehe. Gleichzeitig halte ich den Namen, z. B. $\lambda = 650$, fest, und hiermit ist die Vorstellung schon so klar und lebhaft, wie sie überhaupt werden kann. Nur ihre Stärke läßt sich weiter steigern, was am einfachsten auf die Weise geschieht, daß ich mir ein zirkuläres Feld vorstelle, das dann in wenigen Sekunden die gewünschte Farbe annimmt. Klar ist das Erinnerungsbild also schon bei der Reproduktion wegen der begleitenden Umstände; seine volle Stärke erhält das Bild aber nur, wenn die Aufmerksamkeit ausschließlich auf dasselbe gelenkt wird.

Einen besonderen Erfolg hat die Lenkung der Aufmerksamkeit auf Bewegungsvorstellungen. Wir sahen oben (S. 475), wie die Konzentration der Aufmerksamkeit auf eine solche Vorstellung oder auf eine Vorstellung, die mit einer Bewegung fest assoziiert ist, immer eine Bewegungstendenz auslöst, so daß eine minimale Bewegung zustande kommt, selbst wenn man die betreffenden Muskeln ruhig zu halten glaubt. Daß die Bewegungen nicht im vollen Umfange ausgelöst werden, liegt einfach daran, daß man die Muskeln ruhig zu halten sucht. Die Aufmerksamkeit ist nur teilweise auf die Bewegungsvorstellung, teilweise aber zugleich auf die unveränderte Lage der betreffenden Glieder gelenkt, und hierdurch wird die Bewegung gehemmt. Wird diese Hemmung aufgegeben, die Aufmerksamkeit ausschließlich auf die Bewegungsvorstellung gerichtet, tritt die Bewegung tatsächlich ein. Eine Bewegung, die auf die Weise zustande kommt, daß die Aufmerksamkeit auf die betreffende Bewegungsvorstellung konzentriert wird, nennt man eine willkürliche.

Ablenkungserfolg verschiedener Zustände. Die Ablenkung der Aufmerksamkeit von einem Zustande ist, wie wir oben sahen, einfach eine Hemmung desselben. Damit zwei zentrale Vorgänge sich aber gegenseitig hemmen, müssen sie eine gemeinsame Strecke haben, und die Hemmung wird, alles übrige gleich, um so stärker, je mehr die Hemmungsgebiete sich decken, je größer die gemeinsame Strecke ist. Weder das

einfache Zählen noch das Hersagen eines auswendig gelernten Gedichtes erfordert eine größere Konzentration der Aufmerksamkeit; wenn jede dieser Tätigkeiten einmal angefangen hat, löst die eine Vorstellung die folgende aus. Dennoch kann man nicht gleichzeitig zählen und ein Gedicht hersagen; die beiden Leistungen schließen sich gegenseitig aus, da sie in demselben Zentrum verlaufen, und je nach der Richtung der Aufmerksamkeit kommt die eine oder die andere zustande. Wie das Zählen verhält sich auch z. B. die fortlaufende Addition einstelliger Zahlen; wenn diese Arbeit motorisch ausgeführt wird, kann sie gleichzeitig mit dem Hersagen eines Gedichtes nicht geleistet werden, und sie wird mithin vollständig gehemmt. Gelingt es dagegen, die Addition auf andere Weise, z. B. visuell, auszuführen, so können die beiden Leistungen nebeneinander hergehen; gewöhnlich werden dann weniger Additionen pro Minute als unter normalen Umständen geleistet. R. Vogt[1]), dem wir die meisten dieser Untersuchungen verdanken, fand, daß die Zahl der Additionen durch das Hersagen eines Gedichtes um den Bruchteil 0,604 herabgesetzt wurde, so daß sich also während der Störung nur 0,396 der ohne Störung geleisteten Anzahl ausführen ließ. Es war besonders das visuelle Festhalten der sukzessiven Summen, das durch die Ablenkung gestört wurde, was sich dadurch konstatieren ließ, daß die Addition je zweier Zahlen mit Niederschreiben des Resultates durch dieselbe Ablenkungsarbeit gar nicht gestört wurde.

Das Auswendiglernen von Zahlenreihen, das Vogt normal ebenfalls auditiv-motorisch ausführte, wurde natürlich vollständig gehemmt, wenn ein Gedicht gleichzeitig hergesagt werden sollte. Die beiden Tätigkeiten konnten aber gleichzeitig ausgeübt werden, wenn das Auswendiglernen visuell durchgeführt wurde; die Leistung wurde aber hierdurch auf 0,263 der normalen Größe herabgesetzt. Führte er aber statt des Hersagens des Gedichtes als Ablenkungsarbeit die viel kompliziertere $R + G$-Arbeit aus, die sofort näher angegeben werden soll, war die Störung nicht so groß — die Leistung wurde nur auf 0,402 herabgesetzt — weil das Auswendiglernen in diesem Falle auditiv-motorisch stattfinden konnte.

Die Bedeutung dieser Versuchsergebnisse kann nicht zweifelhaft sein. Eine Tätigkeit kann gewiß nur dann vom

[1]) Ablenkbarkeit und Gewöhnungsfähigkeit. Kraepelins Psych. Arb. Bd. 3, S. 62. u. f.

auditiv-motorischen ins visuelle Gebiet verschoben werden, wenn visuelle Vorgänge auch unter normalen Umständen die Sprechklangbilder begleiten. Durch die Verschiebung wird also das vorher Nebensächliche zur Hauptsache erhoben, und die gemeinsame Strecke der beiden Vorgänge wird dadurch eingeengt. Die im motorischen Zentrum verlaufende Ablenkungsarbeit hemmt zwar wie vorher die Sprechklangbilder der gestörten Arbeit; da die letzteren aber durch die Verschiebung nur nebensächliche, entbehrlichere Vorgänge geworden sind, verhalten sich die beiden Arbeiten, als ob ihre gemeinsame Strecke kleiner geworden wäre. Es ergibt sich somit: *Zwei psychophysiologische Vorgänge hemmen sich um so mehr, je mehr sie dieselben Zentren in Anspruch nehmen, je größer also ihre gemeinsame Strecke ist.*

Als einfache Konsequenz dieses Satzes resultiert, daß der hemmende, herabsetzende Einfluß einer psychischen Leistung gewöhnlich mit ihrer Komplikation wachsen wird. Die Gültigkeit dieser Folgerung hat Vogt durch eine besondere Versuchsreihe festgestellt. Die reagierende, gestörte Arbeit war die fortlaufende Addition einstelliger Zahlen. Als ablenkende, hemmende Arbeiten wurden zwei verschiedene untersucht. In einer Reihe wurde auf Metronomschläge (19 in der Minute) reagiert, indem bei jedem Schlage ein Punkt in die zu addierende Zahlenreihe gesetzt wurde: die R-Arbeit. In einer anderen Versuchsreihe wurde außerdem bei jedem vierten Metronomschlag ein Kreuz gesetzt; diese Arbeit war also bedeutend komplizierter, indem eine Gedächtnisleistung hinzu kam: die $R + G$-Arbeit. In beiden Fällen wurde die Anzahl der pro Minute ausgeführten Additionen herabgesetzt, bei der R-Arbeit aber nur um den Bruchteil 0,168, bei der $R + G$-Arbeit dagegen um 0,305, also ungefähr um das Doppelte.

Die Vogt'sche Methode ist zu systematischen Untersuchungen in größerer Ausdehnung wenig geeignet. Bei komplizierteren Ablenkungsarbeiten wird es ja nämlich vorkommen können, daß die reagierende Arbeit sich in ein anderes Zentrum verschiebt, und die Störung kann dann, wie wir oben sahen, kleiner ausfallen als bei einer tatsächlich weniger komplizierten Leistung. Es empfiehlt sich daher, als reagierende Arbeit eine Tätigkeit zu wählen, die sich weder willkürlich noch unwillkürlich verschieben läßt. Als reagierende Arbeit zog ich daher die Muskelarbeit vor: es wurde an einem Federergographen in regelmäßigem Tempo (40 pro Minute) mit der

Hand maximale Hebungen ausgeführt. Diese Arbeit, die, sobald sie eingeübt ist, nur eine geringe Aufmerksamkeit erfordert, kann von den verschiedenartigsten psychischen Tätigkeiten beeinflußt werden, und auf diese Weise läßt sich die Gültigkeit des Hemmungsgesetzes für diese Störungen dartun. Dem Hemmungsgesetze zufolge soll die relative Verminderung einer zentralen Arbeit dem Bruchteile der Energie gleich sein, der zur anderen gleichzeitigen Arbeit verbraucht wird (S. 156). Ist also die Größe der ungehemmten Arbeit A_s, die während der Störung ausgeführte Arbeit A_v, so muß also die relative Verminderung der Arbeit $\frac{A_s - A_v}{A_s}$ eine nur von der Größe der Hemmungsarbeit abhängige Konstante $\frac{1}{Q}$ sein. Nun können wir zwar nicht die im motorischen Zentrum geleisteten Arbeiten messen; da aber aller Wahrscheinlichkeit nach die Muskelarbeit der zentralen Innervation proportional ist, muß die relative Verminderung der Muskelarbeit auch konstant sein, unabhängig von der jeweiligen, größeren oder geringeren Ermüdung der arbeitenden Muskeln. Dies hat sich in der Tat auch erwiesen [1]).

Die Untersuchung der verschiedenen psychischen Erscheinungen nach der angegebenen Methode hat zu dem Resultate geführt, daß gewisse Tätigkeiten: das Unterscheiden einfacher Empfindungen und die Reproduktion geläufiger Assoziationen (der Zahlenreihe, des Alphabeths usw.), keinen merklichen Einfluß auf die Muskelarbeit ausübt. Nur unlustbetonte Empfindungen hemmen die Arbeit und um so mehr, je intensiver die Unlust ist. Kompliziertere Leistungen, z. B. Rechnen und Auswendiglernen, hemmen um so stärker, je mehr sie die Aufmerksamkeit in Anspruch nehmen. Dies ist am besten bei der Lösung schwierigerer Rechenaufgaben ersichtlich. Man kann eine solche Aufgabe entweder sehr flüchtig rechnen, ohne großes Gewicht auf die Richtigkeit der Operationen zu legen, oder man kann das Rechnen sorgfältig ausführen, so daß man von der Richtigkeit derselben überzeugt ist. Beim Kopfrechnen kann man in den beiden Fällen die partiellen Resultate entweder vergessen oder festhalten, so daß man schließlich imstande ist, das Fazit anzugeben. Da es eine sehr verschiedene Konzentration der Aufmerksamkeit erfordert,

---

[1]) Lehmann: Körperl. Äußerungen psych. Zustände. Bd. 2 S. 204 u. f.

je nachdem man auf die eine oder die andere Weise rechnet, steht mithin zu erwarten, daß die Verminderung der Muskelarbeit wesentliche Unterschiede zeigen wird. Bei der Addition von vier dreistelligen Zahlen fand ich als Mittel von je zwei Bestimmungen[1]) die folgenden Werte $\frac{1}{Q}$:

	ohne Behalten	mit Behalten	Differenz
flüchtig gerechnet	0,10	0,17	0,07
sicher gerechnet	0,19	0,26	0,07

Selbstverständlich haben diese Zahlen nur individuelle Gültigkeit; was dem geübten Rechner keine besondere Schwierigkeit macht, kann dem ungeübten eine unlösliche Aufgabe sein, und damit variiert auch die Größe der Hemmung. Analoge Unterschiede kommen daher auch bei demselben Individuum auf verschiedenen Übungsstufen vor. Als ich, zehn Jahre nach den erwähnten Versuchen, große Übung im Addieren erreicht hatte, wiederholte ich die Bestimmungen; als Mittel von je acht Einzelversuchen ergaben sich die folgenden Resultate mit den beigefügten mittleren Variationen:

	ohne Behalten	mit Behalten	Differenz.
flüchtig gerechnet	0,089 ± 0,024	0,100 ± 0,015	0,011
sicher gerechnet	0,108 ± 0,018	0,128 ± 0,016	0,020.

Die Gedächtnisleistung, das Behalten des Resultats, setzt, wie man sieht, in allen Fällen die Muskelarbeit herab. Da die Aufgaben aber bei der größeren Übung bedeutend schneller erledigt werden, wird die Gedächtnisleistung in diesem Falle relativ gering, und daher wird besonders die vom Behalten herrührende Hemmung durch die Übung herabgesetzt. Übrigens ist es ersichtlich, daß die Arbeit, die der Lösung solcher Aufgaben entspricht, zwar je nach der Konzentration der Aufmerksamkeit variiert, aber weder unter ein gewisses Minimum sinken, noch ein bestimmtes Maximum überschreiten kann. Ganz Analoges findet sich bei schwierigeren Rechenaufgaben, indem die Hemmung mit der Komplikation der Exempel wächst, wie aus der Tabelle 36 zu ersehen ist.

Aus dem Angeführten geht hervor, daß die Gedächtnisleistung ganz besonders die Anspannung der Aufmerksamkeit erheischt. Jedes Schulkind weiß übrigens, daß man ohne Aufmerksamkeit nichts auswendig lernen kann; jedenfalls beansprucht das Erlernen in diesem Falle eine so unverhältnis-

[1]) Körperliche Äußerungen. Bd. 2. S. 227.

Tabelle 36.

Art der Arbeit	Flüchtig gerechnet	Sicher gerechnet ohne Behalten	Sicher gerechnet mit Behalten
Multiplikation dreistelliger Zahlen mit zweistelligen über 20. . .	0,21	0,58	
Multiplikation vierstelliger Zahlen mit zweistelligen unter 20 . .	0,19	0,32	0,50
Addition von sechs fünfstelligen Zahlen	0,18	0,31	
Addition von vier dreistelligen Zahlen	0.10	0,19	0,26

mäßig lange Zeit, daß man sich viel lieber sofort anspannen kann. Die experimentelle Untersuchung des Auswendiglernens hat in der Tat denn auch ergeben, daß diese Tätigkeit die gleichzeitige Muskelarbeit stark herabsetzt und um so mehr, je mehr Glieder die zu erlernenden Reihen erhalten. Die Resultate meiner Versuche mit sinnlosen Silben gehen aus der Tabelle 37 hervor, wo N die Anzahl der Silben jeder Reihe, W die zur richtigen Reproduktion der Reihe notwendige Anzahl Lesungen und $\frac{1}{Q}$ die durchschnittliche Herabsetzung der Muskelarbeit während der Lesung angibt[1]). Die hemmende Wirkung der Gedächtnisarbeit, $\frac{1}{Q}$, wächst fast proportional zur Anzahl N der Silben, indem $\frac{1}{QN}$ als eine Konstante anzusehen ist. Eine Ausnahme bildet nur der Wert für $N = 4$, indem $\frac{1}{QN}$ hier kaum halb so groß wie in den übrigen Fällen ist. Diese Ausnahme bestätigt indes nur das Gesetz. Da nämlich sechs Silben durch einmaliges Lesen ($W = 1$) gelernt werden können, so braucht die Aufmerksamkeit beim Erlernen von vier Silben nicht maximal konzentriert zu werden, und $\frac{1}{Q}$, das Maß der Aufmerksamkeit, muß mithin kleiner ausfallen. Sehen wir aber von diesem Ausnahmefall ab, finden wir durchweg, daß *die Anspannung der Aufmerksamkeit, und mithin die Hemmung der Muskelarbeit, proportional zur Silbenzahl der zu erlernenden Reihe wächst.* Genau kann dieser Satz indes nicht zutreffen (S. 157); hierauf kommen wir später zurück (S. 537).

---

[1]) Lehmann: Elemente der Psychodynamik. S. 341 u. f.

Tabelle 37.

N	4	6	8	10
W	1	1	4	10
$\frac{1}{Q}$	0,042	0,136	0,216	0,286
$\frac{1}{QN}$	0,0105	0,0227	0,0270	0,0286

Ein Analogon hierzu ist auf dem Gebiete der Gesichtswahrnehmungen nachgewiesen. Findet in einem Punkte des Sehfeldes eine kleine Veränderung statt, so wird diese Veränderung leichter bemerkt, wenn die Aufmerksamkeit auf einen anderen Punkt konzentriert, als wenn sie über das ganze Sehfeld verteilt ist[1]). Die kompliziertere Aufgabe, das ganze Sehfeld aufmerksam zu beobachten, entspricht also auch hier einer relativ größeren Leistung, lenkt mithin mehr von der wahrzunehmenden Veränderung ab. Übrigens sind Ablenkungsversuche in den letzten Jahren mannigfach variiert worden[2]) und führen allgemein zu dem Ergebnis: *Die Hemmung, die eine psychische Tätigkeit auf einen anderen zentralen Vorgang ausübt, ist von der Anspannung der Aufmerksamkeit abhängig, die die psychische Tätigkeit erfordert; durchweg wächst die Hemmung sowohl mit der Konzentration der Aufmerksamkeit als mit der Komplikation der Tätigkeit.*

Sonderbarerweise gibt es aber Ausnahmen von dieser Regel. Es wurde schon oben (S. 392) erwähnt, daß lustbetonte Empfindungen unter gewissen Umständen keineswegs hemmend, vielmehr fördernd auf die Muskelarbeit einwirken. Etwas Analoges wies Taylor nach[3]). Er fand, daß sehr schwache Empfindungen, die periodisch verschwinden und wieder auflodern (vgl. S. 510), bisweilen eine größere Dauer der Merklichkeitsperioden aufweisen, wenn andere, besonders lustbetonte Empfindungen gleichzeitig erregt werden. Die Versuchsergebnisse waren recht schwankend, sprechen aber jedenfalls dafür, daß lustbetonte Empfindungen bahnend auf andere

[1]) Wirth: Die Klarheitsgrade der Regionen des Sehfeldes. Wundt: Psych. Studien. Bd. 2. 1906. S. 88.

[2]) Peters: Aufmerksamkeit und Reizschwelle, Archiv für Psych. Bd. 8. S. 385. Geißler: Measurement of Attention. Amer. Journ. Bd. 20. S. 473.

[3]) Amer. Journal of Psychol. Bd. 12. 1900. S. 335.

gleichzeitige Vorgänge einwirken können. Auf die Erklärung dieser recht sonderbaren Tatsache können wir erst später eingehen (Kap. 87).

Einundsechzigstes Kapitel.

Bedingungen der Aufmerksamkeit.

Im Vorhergehenden haben wir die unmittelbaren Wirkungen der Konzentration und der Ablenkung der Aufmerksamkeit behandelt. Es wird jetzt die Frage, unter welchen Bedingungen die Aufmerksamkeit in eine bestimmte Richtung gelenkt und mithin von anderen Richtungen abgelenkt wird. Diese Selbstverständlichkeit, daß die Verhältnisse, die die Aufmerksamkeit in einer Richtung lenken, von anderen Richtungen ablenken, muß besonders festgehalten werden, weil der Fall sehr oft vorliegt, daß die gleichzeitigen Bedingungen einer Aufmerksamkeitskonzentration sich widerstreiten. Allerdings kann es vorkommen, speziell bei experimentellen Untersuchungen, wo wir die Verhältnisse zurechtlegen können, daß alle Bedingungen in eine Richtung lenken; im täglichen Leben wird wohl das Gegenteil weitaus häufiger sein. Entweder teilt sich dann die Aufmerksamkeit (vgl. Kap. 64), oder eine Gruppe von Bedingungen trägt den Sieg davon, und die übrigen Gruppen treten mithin nur als Störungen auf.

Man unterscheidet gewöhnlich zwei Hauptgruppen von Bedingungen: die *äußeren* und die *inneren*. Die äußeren Bedingungen sind solche Eigentümlichkeiten der Reize, die geeignet sind, die Aufmerksamkeit zu fesseln, während die inneren die Zustände und Dispositionen des Bewußtseins sind. Zwischen diesen beiden Gruppen besteht, wie leicht verständlich, häufig ein Gegensatz, indem die äußeren Reize von der Richtung ablenken, die die inneren Bedingungen bevorzugen. Diese letztere, hauptsächlich durch innere Bedingungen bestimmte Aufmerksamkeit wird als die *willkürliche* bezeichnet. Solange der Widerstreit zwischen den äußeren Bedingungen und der willkürlichen Aufmerksamkeitsrichtung merklich ist, werden die ersteren nur als Störungen der letzteren empfunden. Gelingt es aber den äußeren Bedingungen, die inneren so zu verändern, daß die beiden Gruppen jetzt in dieselbe Richtung lenken, so sagt man, die Aufmerksamkeit sei *unwillkürlich* gefesselt.

Zwischen der unwillkürlichen und der willkürlichen Aufmerksamkeit besteht also eigentlich nur der Unterschied, daß die erstere, jedenfalls anfangs, hauptsächlich durch äußere Bedingungen bestimmt ist, während die letztere besonders von inneren Bedingungen abhängig ist, die oft von äußeren Störungen gehemmt werden. Die Überwindung dieser Hemmungen erheischt eine größere innere Anspannung; die willkürliche, mit Störungen kämpfende Aufmerksamkeit ist daher anstrengender als die unwillkürliche. Werden aber die äußeren Störungen auf irgendeine Weise ausgeschaltet, besteht einfach kein Unterschied zwischen den beiden Formen der Aufmerksamkeit. Es schadet indes nicht für die beiden Fälle: überwiegende Abhängigkeit von äußeren oder von inneren Bedingungen, besondere Namen zu haben.

Die äußeren Bedingungen der Aufmerksamkeit sind sehr verschiedener Art. Die größte Rolle spielt wohl die Intensität des Reizes; starke Empfindungen sind fast immer imstande, trotz allen Widerstandes der inneren Bedingungen, die Aufmerksamkeit auf sich zu lenken. Veränderungen, besonders große Veränderungen der Reize, sind in dieser Beziehung noch bedeutungsvoller als konstante Eindrücke. Zieht z. B. an einem hellen Tage eine dunkle Wolke vor die Sonne, werden wir leicht darauf aufmerksam, weil die Verminderung der Lichtstärke unsere Beschäftigung stört. Es ist übrigens oft behauptet, aber kaum je dargetan worden, daß auch das Aufhören unbemerkter Reize die Aufmerksamkeit zu fesseln vermag. Man muß gewiß Titchener beistimmen, daß das klassische Beispiel: „der Müller erwacht, wenn der Gang der Mühle stockt“, und die analogen Fälle nicht so viel beweisen, als man darin hat sehen wollen[1]). Der Müller erwacht wohl nur, wenn er im Halbschlafe, dem Klappern der Mühle lauschend, das gewohnte Geräusch nicht hört, ebenso wie wir aufmerksam werden, wenn wir das Ticktack der Uhr nicht hören, das sich uns sonst immer aufdringt, wenn die Aufmerksamkeit von der Arbeit abgelenkt wird. *Nur die angewohnten und unter bestimmten Verhältnissen erwarteten, aber sonst unbemerkten Reize fesseln die Aufmerksamkeit, wenn sie ausbleiben.* Es handelt sich also hier nicht ausschließlich um äußere Bedingungen; die Aufmerksamkeit muß teilweise durch innere Umstände in eine bestimmte Richtung gelenkt werden,

---

[1]) Titchener: Feeling and Attention. S. 199 u. f.

damit das Ausbleiben der sonst unbemerkten Reize sie fesseln kann.

Von großer Bedeutung ist die Geschwindigkeit der Veränderung. Zieht eine schwarze Gewitterwolke plötzlich vor die Sonne, wird die Verdunkelung leichter bemerkt, als wenn es allmählich finster geworden wäre. Die zeitlichen Verhältnisse der Reize sind überhaupt nicht belanglos. Sehr kurz dauernde Reizungen können unbemerkt verlaufen; eine Verlängerung der Reizdauer kann bis zu einer gewissen Grenze dieselbe Wirkung wie die Vergrößerung der Reizstärke haben. Dauernde Reize, die man sich angewöhnt hat, fesseln dagegen kaum mehr die Aufmerksamkeit. Am stärksten wirkt daher die Wiederholung eines Reizes von passender Dauer: das Flackern eines Lichtes, das wiederholte Warnungssignal einer Dampfflöte bleiben nicht lange unbemerkt.

Die Größe der räumlichen Ausdehnung hat fast dieselbe Wirkung wie die Stärke des Reizes; und ebenso wie die intensiven sind die räumlichen Veränderungen geeignet, die Aufmerksamkeit zu fesseln. Was sich bewegt, seine Lage wechselt, wird fast immer bemerkt; das Reh, das von dem welken Laube nicht zu unterscheiden ist, wenn es sich ruhig verhält, wird sofort entdeckt, wenn es sich bewegt.

Die inneren Bedingungen der Aufmerksamkeit zerfallen in zwei Gruppen: die psychophysiologischen oder *subjektiven*, deren wir uns gewöhnlich bewußt werden können, und die *physiologischen*, die im Bewußtsein nicht hervortreten und nur mittels ihrer Wirkungen nachgewiesen werden können.

Die subjektiven Bedingungen der Aufmerksamkeit, die *Beachtungsmotive*, sind stets gefühlsbetonte Vorstellungen, am häufigsten lustbetonte Vorstellungen von einem Zwecke, der sich entweder sofort oder an irgendeinem späteren Zeitpunkte durch den Gegenstand der Aufmerksamkeit erreichen läßt. Sehr oft wird das Beachtungsmotiv von Vorstellungen, die vom Gegenstand der Beachtung durchaus unabhängig sind, hervorgerufen; in solchen Fällen ist es über jedem Zweifel erhaben, daß es die zu erreichenden Zwecke, die „Interessen“ des Individuums sind, die die Beachtungsmotive bilden und die Aufmerksamkeit lenken (vgl. Kap. 81).

Wenn es mir während eines Versuches plötzlich einfällt, daß eine bestimmte Wirkung sich z. B. mittels eines bestimmten Stoffes erzielen läßt, so lenkt sich meine Aufmerksamkeit auf den Schrank und die Flasche, worin der Stoff sich befindet. Hier handelt es

sich um einen sofort zu erreichenden Zweck. Führt mich aber ein Gedankengang zu dem Ergebnis, daß gewisse Tatsachen sich durch Rechnen aus einem vorliegenden Versuchsmaterial ableiten lassen, so fange ich eine weitläufige Berechnung an, um das noch weit entfernte Resultat zu erhalten, das mir von Interesse zu sein scheint, d. h. einen mir vorschwebenden Zweck mutmaßlich erfüllen wird. Der Berechner dagegen, dem ich eine noch umständlichere Aufgabe vorgelegt habe, lenkt seine Aufmerksamkeit hierauf, obwohl ihn weder die Zahlen, noch das Ergebnis, dessen Bedeutung er nicht beurteilen kann, interessieren, sondern lediglich wegen des Gehalts und der dadurch zu erhaltenden Annehmlichkeiten, die ihm seine Arbeit bringen wird.

In den erwähnten Beispielen haben wir eine Reihe immer tiefer liegender Interessen, immer entfernterer Zwecke, die der Aufmerksamkeit unter bestimmten Umständen eine ganz bestimmte Richtung geben. Fragen wir aber, warum diese Interessen in den verschiedenen Momenten eben da sind, so werden wir augenscheinlich auf die erblichen Anlagen und die Resultate der Entwicklung des betreffenden Individuums verwiesen (vgl. Kap. 89).

In zahlreichen Fällen wird das Beachtungsmotiv indes durch den Gegenstand der Aufmerksamkeit hervorgerufen, und dann kann bei oberflächlicher Betrachtung das Motiv anscheinend fehlen. Von solchen Fällen ausgehend hat man die allgemeine Behauptung aufgestellt: wir lenken nicht die Aufmerksamkeit auf eine Sache, weil sie uns interessiert, sondern, im Gegenteil, sie interessiert uns, weil sie unsere Aufmerksamkeit fesselt.[1]) Es muß selbstverständlich zugegeben werden, daß es im Alltagsleben sehr häufig vorkommt, daß die Leute nicht zu erklären wissen, warum irgend etwas ihre Aufmerksamkeit fesselt und „interessant“ befunden wird. Das Unvermögen des psychologisch ungeschulten Menschen, seine Zustände zu analysieren, beweist aber in dieser Beziehung nichts. Der in Selbstbeobachtung geübte Psychologe wird fast ausnahmslos das Beachtungsmotiv und die äußeren Umstände nachweisen können, die die Richtung der Aufmerksamkeit bestimmen. Wenn ich z. B. die auf meinem Papier spazierende Fliege einen Augenblick beobachte, weiß ich ganz genau, daß ich sie nicht interessant finde, weil sie meine Aufmerksamkeit fesselt. Im Gegenteil, ich beobachte sie, weil es mir daran gelegen ist, meine Gedanken ein wenig ruhen zu lassen, ehe ich eine neue Formulierung des zu schreibenden Satzes versuche.

---

[1]) Pillsbury: Attention. S. 53 u. f.

Und die Fliege wird nur deshalb bevorzugt, weil sie plötzlich im Gesichtsfelde als einziger sich bewegender Gegenstand erschienen ist. Hier spielt der beachtete Gegenstand neben dem Beachtungsmotiv nur eine untergeordnete Rolle bei der Bestimmung der Richtung der Aufmerksamkeit; in anderen Fällen aber geht das Motiv einfach mit dem Gegenstand einher.

Von meinem Fenster aus sehe ich, daß ein großer Hund in den See hinausgegangen ist, um einen der halbwilden Schwäne anzugreifen, und wie gewöhnlich hat dies Schauspiel eine große Menge interessierter Zuschauer gesammelt. Bei meiner Arbeit am Schreibtische sitzend, „sehe“ ich die ganze Szenerie; sie fesselt aber meine Aufmerksamkeit nicht, die völlig von der Arbeit in Anspruch genommen ist. Es tritt aber eine kleine Stockung derselben ein, und in demselben Augenblick fährt mir der Gedanke durch den Kopf: „ich möchte doch einmal sehen, wie ein intelligenter Hund es anfängt, den Vogel in seinem eigenen Elemente anzugreifen.“ Dies Beachtungsmotiv lenkt meine Aufmerksamkeit in die betreffende Richtung; das Motiv selber ist aber zweifellos von dem zu beachtenden Gegenstand hervorgerufen, denn wären der Schwan und der Hund nicht da, würde der Gedanke mir auch nie gekommen sein und meine Arbeit gestört haben. Ebenso gewiß ist es aber auch, daß die Aufmerksamkeit erst durch dies Motiv gelenkt worden ist; der betreffende Gedanke mußte zum Gesichtsbild hinzutreten, ehe die Aufmerksamkeit von der Arbeit abgelenkt werden konnte. Die Entstehung des Gedankens wurde aber selbstverständlich nur dadurch möglich, daß ein allgemeines Interesse für die Regungen des Tierlebens im voraus gegeben war; wir werden also wiederum auf die ganze vorhergehende Entwicklung des Individuums hingewiesen.

In allen analogen Fällen, wo eine Wahrnehmung die Aufmerksamkeit fesselt, findet man, meines Erachtens, bei genauer Analyse immer, daß die Wahrnehmung zuvörderst ein Beachtungsmotiv hervorruft, indem sie zu irgendeinem gegebenen Interesse des Individuums in Beziehung steht. Was auf gar keine Zwecke des Subjektes anspielt, kann seine Aufmerksamkeit auch nicht fesseln. Je mehr aber ein bestimmtes Interesse sich geltend macht, je mehr also die betreffenden Vorstellungen im Bewußtsein hervortreten, um so leichter werden sie auch die Beachtungsmotive abgeben. Zwei verschiedene Menschen werden daher unter genau den nämlichen äußeren Umständen gewöhnlich ihre Aufmerksamkeit in ganz verschiedene Richtungen lenken. Wenn ein Förster und ein Botaniker zusammen durch den Wald gehen, beachtet der eine wahrscheinlich eben die Pflanzen, die den andern gar nicht interessieren; der Förster „sieht“ seine Bäume, der Botaniker

eher die übrigen Gewächse. Je nach dem Wechsel seiner Interessen und Beschäftigungen läßt sich bei demselben Menschen eine analoge Veränderung des Beachteten konstatieren. Der Sportsmann, der bisher nur die Zahl der täglich zurückgelegten Kilometer beachtete, fängt an, auf die Schönheiten der Natur aufzumerken, wenn er Amateurphotograph geworden ist.

Im Vorhergehenden sind nur Fälle erwähnt, wo die Beachtungsmotive lustbetonte Vorstellungen waren, und es wird wohl auch am häufigsten vorkommen, daß der Gegenstand des Aufmerkens eine Quelle augenblicklicher oder künftiger Lust ist. Es wird sich jedoch auch ereignen können, daß die Aufmerksamkeit auf etwas Unlustvolles gelenkt wird. Ein körperlicher Schmerz z. B., der sich schon durch seine Stärke aufdringt, kann die Vorstellung von einer beginnenden ernsteren Krankheit erwecken, weshalb man seine Aufmerksamkeit auf die schmerzende Stelle lenkt, um eine vorläufige Diagnose stellen zu können; vom Ergebnis dieser Untersuchung wird die Notwendigkeit der ärztlichen Hilfe abhängen. Im allgemeinen wird wohl jede Wahrnehmung, die die Vorstellung einer drohenden Gefahr erweckt, durch dies unlustbetonte Beachtungsmotiv die Aufmerksamkeit auf sich lenken; es handelt sich ja darum, zu entscheiden, ob man der Gefahr Trotz bieten kann oder seine Person in Sicherheit bringen soll.

Liegen mehrere Beachtungsmotive gleichzeitig vor, was im täglichen Leben keineswegs selten ist, besonders wenn „Lust“ und „Pflicht“ miteinander kämpfen, so nimmt man gewöhnlich an, daß das am stärksten gefühlsbetonte Motiv den Sieg davon trage. Dies ist indes entschieden unrichtig, wenn man unter „Stärke des Gefühls“ nicht etwas ganz Anderes als die Intensität der Gefühlstöne versteht. Wenn man z. B., mit einer langweiligen Pflichtarbeit beschäftigt, fortwährend von dem heiteren Sonnenschein und den draußen singenden Vögeln gestört wird, die zu einem Spaziergang im frühlingsfrischen Walde hinauslocken, so sind diese Gefühle viel intensiver als die zur Arbeit treibenden. Wenn die letzteren dennoch siegen und die Richtung der Aufmerksamkeit bestimmen, rührt es von ihrer größeren „Masse“ her, indem eine große Anzahl schwach betonter Vorstellungen auf die Dauer viel stärker motivierend wirkt als wenige intensive Gefühle. Wir sahen schon oben, wie die Hemmung, die ein zentraler Vorgang auf einen anderen ausübt, alles übrige gleich mit der Komplikation des hemmenden Vorganges

wächst. Es ist also recht wahrscheinlich, daß die Hemmung ebenfalls mit der Komplikation des Beachtungsmotives wächst, da diese gefühlsbetonte Vorstellungsgruppe ein ebenso notwendiger Teil des Aufmerksamkeitsprozesses wie der Gegenstand der Aufmerksamkeit ist.

Theorie des Aufmerksamkeitsvorgangs. Die Lenkung der Aufmerksamkeit auf eine Erscheinung läßt sich einfach auf die Weise erklären (vgl. S. 494), daß die betreffende Erscheinung, der Gegenstand der Aufmerksamkeit, von einer unbekannten Ursache angebahnt wird, wodurch andere gleichzeitige Zustände gehemmt werden. Man findet aber, wie wir jetzt gesehen haben, als innere Bedingung der Aufmerksamkeit stets ein Beachtungsmotiv, gefühlsbetonte Vorstellungen von einem Zwecke, der sich direkt oder indirekt mittels des Gegenstandes der Aufmerksamkeit erreichen läßt. Das Beachtungsmotiv steht also in einer solchen Beziehung zum Gegenstand der Aufmerksamkeit, daß es denselben fortwährend reproduzieren oder anbahnen kann. Es kann somit kaum einem Zweifel unterliegen, daß das Beachtungsmotiv eben die früher erwähnte unbekannte Ursache sei, die den Gegenstand der Aufmerksamkeit anbahnt und damit alle anderen Erscheinungen hemmt. Ist der Gegenstand der Aufmerksamkeit eine Vorstellung, wird sie einfach reproduziert und dadurch festgehalten. Ist der Gegenstand aber eine gegenwärtige oder künftige Wahrnehmung, läßt sich der Erfolg des Aufmerkens auch leicht dadurch erklären, daß die Wahrnehmung vom Beachtungsmotive aus angebahnt wird. Zahlreiche Erfahrungen lehren nämlich, daß eine Wahrnehmung leichter entsteht und deutlicher wird, wenn im voraus ein Bild des Wahrzunehmenden besteht.

Einige Beispiele können die Sache erläutern. Irgend ein Partialton einer Klangmasse kann oft aus dem Klange herausgehört werden, wenn der Ton unmittelbar vorher allein gehört wird. — Schwache Tastempfindungen werden leicht merklich, wenn man sich im voraus eine bestimmte Empfindung an irgendeiner Stelle des Körpers vorstellt; man kann tatsächlich auf diese Weise überall von der bekleideten Körperoberfläche Empfindungen haben, so daß es zweifelhaft wird, ob es sich in vielen Fällen nicht einfach um halluzinatorische Vorstellungen handelt. Es wurden schon oben (S. 488) verschiedene Beispiele solcher Erinnerungsbilder erwähnt, die einfach mit Wahrnehmungen verwechselt werden können, und es ist leicht verständlich, daß eine Wahrnehmung, von welcher ein solches Erinnerungsbild im voraus gegeben ist, eine außergewöhnliche Deutlichkeit wird annehmen können. In den meisten Fällen

beruht das Vermögen, scharf zu beobachten, eben nur auf der Fähigkeit, die betreffenden Erinnerungsbilder reproduzieren zu können. Wenn Musiker leichter als andere Menschen Partialtöne aus Klangmassen heraushören können, spielt dabei das durch Übung entwickelte Tongedächtnis eine wesentliche Rolle: sie können die betreffenden Töne reproduzieren und daher auch aus dem Klange heraushören. Wenn der „Wilde“ Fußspuren von Menschen oder Tieren sehen kann, wo der Zivilisierte nicht das geringste Merkmal entdeckt, beruht es ebenfalls auf der durch Übung erworbenen Vertrautheit mit dem Aussehen solcher Spuren. Außerdem sind die Beachtungsmotive hier sehr kräftig: sein Leben ist fortwährend davon abhängig, daß er seine Feinde und seine Beute spüren kann, und er wird daher bald imstande sein, selbst die feinsten Merkmale wahrzunehmen.

Wir können hiernach den Aufmerksamkeitsprozeß folgendermaßen darstellen: *Die subjektive Bedingung der Aufmerksamkeit, das Beachtungsmotiv, ist eine gefühlsbetonte Vorstellung von einem sofort oder später zu erreichenden Zwecke, die entweder durch andere Vorstellungen oder durch eine Wahrnehmung hervorgerufen wird. Das Beachtungsmotiv reproduziert dann wiederum den Gegenstand der Aufmerksamkeit, wodurch entweder diese Vorstellung einfach festgehalten oder die Wahrnehmung der entsprechenden Objekte erleichtert wird, während gleichzeitig andere Bewußtseinszustände gehemmt werden.*

Die physiologischen Bedingungen. Gehen wir nun davon aus, daß der Aufmerksamkeitsprozeß ein komplizierter Vorgang ist, wodurch einerseits gewisse Vorgänge angebahnt, andererseits alle anderen Vorgänge gehemmt werden, so leuchtet es ein, daß dieser Prozeß vom physiologischen Zustand des Zentralorgans abhängig sein muß. Die Bahnung oder Hemmung eines Vorgangs ist nämlich von der Stärke des bahnenden oder hemmenden Vorgangs abhängig, und wenn diese Intensität wegen allgemeiner Veränderungen des Zentralorgans Schwankungen unterworfen ist, müssen entsprechende Schwankungen des davon beeinflußten Vorgangs sich nachweisen lassen können. Dies ist denn auch der Fall. Die von minimalen Licht-, Schall- und Tastreizen erregten Empfindungen zeigen, trotz gespannter Aufmerksamkeit, periodische Schwankungen, indem sie bald merklich und bald unmerklich werden.[1] Die Länge einer

---

[1] Ausführliche Darstellung der hierüber angestellten Untersuchungen findet sich bei Wirth: „Analyse der Bewußtseinsphänomene“, Braunschweig, 1908, S. 240 u. f., und Berger: „Körperliche Äußerungen psychischer Zustände“, 2. Teil, Jena 1907, S. 118 u. f.

Welle, vom Anfang der Merklichkeit an bis zum nächsten Auflodern der Empfindung gerechnet, ist individuell recht verschieden, variiert übrigens nicht unbeträchtlich bei demselben Individuum und ist außerdem von der Art der angewandten Reize abhängig. Es können daher nur durchschnittliche Werte zahlreicher Bestimmungen in Betracht gezogen werden. Wie zu erwarten stand, hat es sich erwiesen, daß die Dauer der Merklichkeit mit wachsender Reizstärke wächst; gleichzeitig nimmt aber die Dauer der Unmerklichkeit ungefähr so ab, daß die ganze Periode sich kaum verändert. Wenn der Reiz ein gewisses Minimum überschreitet, muß die Dauer der Unmerklichkeit also Null werden. Die Dauer einer Periode schwankt meistens zwischen 3 und 12 Sek.; es kommen aber sowohl kürzere als viel längere Perioden vor.

Die Ursachen der Schwankungen sind teils peripheren, teils zentralen Ursprunges. Bei Lichtreizen ist es leicht verständlich, daß kleine Schwankungen der Akkommodation des Auges eine weniger scharfe Abbildung der beobachteten Lichtpunkte oder Streifen herbeiführen werden, wodurch die Intensität der Netzhautbilder unter die Reizschwelle sinken kann. Man bemerkt tatsächlich oft, wenn leuchtende Punkte beobachtet werden, daß der Punkt sich unmittelbar vor dem Verschwinden ausbreitet. Von größerem Interesse sind indes die zentralen Ursachen. Erstens ist nachgewiesen worden, daß die Dauer der Periode in einer gewissen Beziehung zur Atmungsperiode steht, und daß das Auflodern der Empfindungen besonders in der Nähe des Inspirationsmaximums eintrifft. Zweitens hat man gefunden, daß die Hirngefäße periodisch ihr Lumen verändern, und daß ein Nachlassen der Aufmerksamkeit ausschließlich bei maximaler Kontraktion der Gefäße stattfindet. Da die Atmung so wie die Gefäßkontraktionen Veränderungen der Blutversorgung des Gehirns herbeiführen, stimmen also die beiden Tatsachen in dem Punkte überein, daß die Aufmerksamkeitsschwankungen vom Stoffwechsel des Gehirns abhängig sind. Da ferner die beiden Perioden weder konstant sind noch dieselbe Dauer haben, können bald die der Gehirntätigkeit förderlichen, bald die derselben ungünstigen Phasen zusammentreffen, und bald gleichen sie sich gegenseitig aus. Interferieren nun außerdem diese Wirkungen mit peripheren Faktoren, werden die Unregelmäßigkeiten der Aufmerksamkeitsschwankungen leicht verständlich.

Eine ähnliche Schwankung der Aufmerksamkeit, nur von viel

größerer Periodenlänge, ist der unter normalen Umständen alle 24 Stunden eintretende *Schlaf*, wo die willkürliche Lenkung der Aufmerksamkeit aufgehoben ist, und die Reizschwellen sämtlicher Sinnesgebiete so hoch liegen, daß nur ungewöhnlich starke Reize überhaupt empfunden werden. Dieser Zustand tritt gewöhnlich ein, wenn der Organismus durch seine Tätigkeit bis zu einem gewissen Grade ermüdet worden ist; nach großer körperlicher oder geistiger Anstrengung schläft man daher früher als normal und wohl auch zu ungewöhnlichen Zeiten ein. Das Einschlafen wird außerdem dadurch erleichtert, daß äußere Reizungen vermieden werden; umgekehrt läßt sich das Einschlafen durch starke und abwechselnde Reize verhindern. Der Schlaf kann jedoch auch ohne vorhergehende Ermüdung und trotz kräftiger äußerer Reize eintreten: die verschiedenen erwähnten Momente können also nur das Einschlafen erleichtern resp. erschweren, dagegen nicht den Schlaf verursachen. Dieser Zustand läßt sich somit nur als eine durch eine unbekannte Ursache herbeigeführte, periodische Herabsetzung der psychischen Tätigkeit bestimmen.

Völlig aufgehoben sind die psychischen Funktionen jedoch nicht während des Schlafes. Der springende, oft sinnlose Vorstellungslauf im *Traume* zeigt indes, daß eine Lenkung der Aufmerksamkeit nicht stattfindet; die Reproduktion der sukzessiven Vorstellungen ist dem Anschein nach nur durch die kleinsten Widerstände der Leitungsbahnen bestimmt. Eine Annäherung zu dem zusammenhangslosen Vorstellungslauf des Traumes haben wir im *Wachtraum*, wo die Lenkung der Aufmerksamkeit zwar nicht völlig fehlt, jedoch stark herabgesetzt ist. Der Wachträumende ist *zerstreut*: er muß sich erst „sammeln“, d. h. seine Aufmerksamkeit konzentrieren, ehe er etwas fassen kann. Eine andere Form der Distraktion ist die *Vertiefung*, eine ungewöhnlich starke, einseitige Anspannung der Aufmerksamkeit, wodurch die Lenkung derselben in andere Richtungen erschwert ist. Wie der normale Schlaf sich zur Zerstreutheit verhält, so verhält sich die *Hypnose* zur Vertiefung. Die physiologische Ursache der Hypnose ist wie die des Schlafes noch unbekannt: in psychologischer Beziehung läßt sich die Hypnose aber als eine anormal starke Konzentration auffassen, die dem Hypnotisierten es unmöglich macht, willkürlich seine Aufmerksamkeit in andere Richtungen zu lenken. Der Hypnotisierte kann nur von den der jeweiligen Aufmerksamkeitsrichtung entsprechenden Reizen erregt werden, und diese Richtung wird ausschließlich durch die Worte einer anderen Person, des Hypnotisierenden, bestimmt. Sämtliche Eigentümlichkeiten der Hypnose können von dieser Voraussetzung aus psychologisch erklärt werden.

Zweiundsechzigstes Kapitel.

Einstellung und Eingebung.

Die Einstellung. Wir sahen oben, wie die sogenannte Lenkung der Aufmerksamkeit in bestimmter Richtung darauf beruht, daß das Beachtungsmotiv, eine gefühlsbetonte Vor-

stellung von einem zu erreichenden Zwecke, den Gegenstand der Aufmerksamkeit, eine andere Vorstellung oder eine Wahrnehmung, anbahnt. Wenn nun in verschiedenen Fällen der Gegenstand der Aufmerksamkeit der nämliche ist, während die Vorstellung von dem Zwecke, von der zu lösenden Aufgabe variiert, so wird die Aufmerksamkeit zwar in dieselbe Richtung gelenkt, das Ergebnis dieser Konzentration wird aber, je nach dem Zwecke, ein ganz verschiedenes. Erläutern wir die Sache durch ein Beispiel. Mir sind einige auf ein Blatt Papier geschriebene Zahlen vorgelegt worden, und ich lenke meine Aufmerksamkeit darauf. Was ferner geschieht, ist ausschließlich von der „Aufgabe“ abhängig. Es kann die Frage gestellt sein, ob die verschiedenen Zahlen von derselben Hand geschrieben seien — dann findet hauptsächlich eine Vergleichung und ein Unterscheiden statt. Oder es ist mir zugemutet worden, zu irgend einem Zwecke die Zahlen auswendig zu lernen — dann tritt eine Verknüpfung ein, damit ich die Zahlen im Gedächtnis behalte. Oder es kann die Aufgabe gestellt sein, die Zahlen zu addieren, zu multiplizieren oder ähnliches — in diesen Fällen wird sukzessiv eine Reihe ganz bestimmter Vorstellungen reproduziert. *Die Aufgabe, die Vorstellung von dem zu erreichenden Zwecke, determiniert also für eine gewisse Zeit den Verlauf der psychophysiologischen Vorgänge in einer bestimmten Richtung; eine solche dauernde Beeinflussung des körperlich-seelischen Geschehens nennt man die Einstellung.*

In dem eben erwähnten Beispiele war die Einstellung der direkte Erfolg des zu erreichenden Zweckes. In komplizierteren Fällen aber wird es vorkommen können, daß eine Aufgabe auf verschiedene Weisen gelöst werden kann und die eben vorgezogene nur durch Nebenumstände determiniert wird. Solche Nebenumstände, die auf ein bestimmtes Verfahren einstellen, werden dann als die *Konstellation* bezeichnet[1]). Ich kann z. B. einen Aufsatz entweder mit der Feder oder mit der Maschine schreiben. Das Niederschreiben meiner Gedanken ist hier der Hauptzweck. Die beiden verschiedenen Herstellungsweisen erfordern indes ganz verschiedene Systeme der die Gedanken begleitenden Bewegungen. Habe ich aber die Feder in die Hand genommen (meine Motive dieser Wahl sind hier belanglos), so ist eine bestimmte Konstellation zustande gebracht, und ich bin damit auf das eine System von Bewegungen eingestellt.

[1]) Ziehen: Leitfaden der physiol. Psychologie. 7. Aufl. S. 186.

Das Schreiben geht ferner ganz mechanisch, ohne daß ich zu fürchten brauche, daß ich plötzlich unversehens meine Feder wie eine Schreibmaschine behandeln werde. Die beiden Gruppen von Bewegungen gehen nie ineinander über; es sind einfach zwei verschiedene Sprachen, worin die Gedanken sich ausdrücken lassen, ohne daß je ein Wort der einen Sprache für das entsprechende der anderen eintritt. Fast ebenso verhält es sich, wenn man verschiedene Sprachen sprechen kann. In einem fremden Lande, wo man die betreffende Sprache fortwährend hört, ist man auf dieselbe eingestellt, so daß die Gedanken ohne Zwischenglieder die fremdsprachlichen Worte reproduzieren, und nur in den Fällen, wo einem wegen mangelnder Sprachkenntnisse ein Wort fehlt, stellt sich das entsprechende Wort der Muttersprache ein. Ganz analog liegen die Verhältnisse, wenn die verschiedenen Notenzeichen, je nach dem vorgesetzten Schlüssel, verschiedene Bedeutungen haben; durch den Schlüssel findet eine besondere Einstellung statt.

In den bisher betrachteten Fällen handelte es sich um Einstellungen in qualitativ verschiedene Richtungen; bei Muskelbewegungen wenigstens spielen die intensiv verschiedenen Einstellungen eine ebenso große Rolle. Die Innervation der willkürlichen Muskeln wird immer nach der Größe und dem sonstigen Aussehen des Objektes, das eben gehandhabt werden soll, eingestellt. Da aber das Gewicht eines Gegenstandes nicht mit Genauigkeit nach seinem Aussehen abgeschätzt werden kann, entstehen leicht Gewichtstäuschungen, wenn eine größere Abweichung zwischen der eingestellten und der erforderlichen Innervation vorkommt (vgl. S. 351). Analoge Täuschungen entstehen selbstverständlich auch, wenn die unrichtige motorische Einstellung nicht durch das Gesicht, sondern auf irgendeine andere Weise zustande gekommen ist, wovon weiter unten die Rede sein wird.

So lange es sich nur um kurzdauernde Einstellungen handelt, unterscheidet sich dieser Vorgang kaum von irgendeiner anderen Aufmerksamkeitskonzentration. Ein bewußtes Beachtungsmotiv bahnt eine Wahrnehmung oder Vorstellung, den Gegenstand der Aufmerksamkeit, an, wodurch der augenblickliche Bewußtseinszustand bestimmt wird. Wenn aber die einmal stattgefundene Einstellung eine dauernde Tätigkeit bestimmter Art (Addieren, Maschinenschreiben usw.) herbeiführt, obwohl das Beachtungsmotiv während dieser Be-

schäftigung gar nicht bewußt bleiben kann, so erheischt diese dauernde Wirkung zweifellos eine Erklärung. Es ließ sich wohl annehmen, daß die Zielvorstellung, die Aufgabe, noch im Unbewußten ihre Wirkung fortsetzte; es würde aber kaum verständlich sein, wie von einem solchen Vorgang geringer Stärke eine dauernde Bahnung ausgehen könnte. Jedenfalls ist die Annahme wahrscheinlicher, daß der jeweilige Zustand als Einstellung des folgenden diene. Hierdurch wird die Sache denn auch völlig verständlich, da jede Tätigkeit, auf die sich einstellen läßt, ein System eng miteinander verbundener Vorgänge umfaßt. Beim Maschinenschreiben z. B. sind die zum Hervorbringen der Buchstaben nötigen Bewegungen in zahlreichen verschiedenen Kombinationen eingeübt. Es werden daher diese Bewegungen angebahnt und in Bereitschaft gesetzt, wenn man zu schreiben anfängt, während andere Bewegungen, z. B. die zum Schreiben mit der Feder erforderlichen, gleichzeitig gehemmt werden. Da das fortgesetzte Schreiben mit der Maschine eben diese Bewegungen in Bereitschaft setzen muß, wird also tatsächlich hierdurch die Einstellung erhalten, und in anderen Fällen finden analoge Verhältnisse statt.

Damit eine Zielvorstellung, die Aufgabe, eine bestimmte Einstellung zustande bringen soll, müssen die nötigen assoziativen Verknüpfungen selbstverständlich im voraus hergestellt sein. Man kann sich ebensowenig aufs Maschinenschreiben als aufs Addieren einstellen, wenn diese Tätigkeiten nicht vorher eingeübt sind. Die Einübung, das Erlernen einer solchen Fähigkeit, ist nämlich selbst keine Einstellung, weil das Zustandebringen der betreffenden Verknüpfungen eine dauernde bewußte Anspannung der Aufmerksamkeit erfordert. (Vgl. Kap. 68 und 69). In gewissen Fällen ist es aber kaum möglich, zwischen Einübung und Einstellung zu unterscheiden. Wie schon erwähnt, findet im täglichen Leben fast immer im voraus eine Einstellung der Stärke der Muskelinnervationen nach dem Aussehen der zu handhabenden Gegenstände statt. Da wir mit dem Gewichte der meisten beweglichen Dinge einigermaßen vertraut sind, so wird die Aufgabe, ein gegebenes Objekt zu heben, meistens auch eine bestimmte Innervation der betreffenden Muskeln herbeiführen. Bei experimentellen Untersuchungen über Gewichtsempfindungen aber wendet man gewöhnlich Gewichte an, die ganz gleich aussehen, aber verschieden wiegen. Es fehlt daher der Versuchsperson jeder Anhaltspunkt, um im voraus die Innervation nach der Größe

des zu hebenden Gewichtes zu regulieren. Wenn man aber einige Male die verschiedenen Gewichte in bestimmter Ordnung hebt, so bildet sich dadurch eine Assoziation zwischen der Lage des Gewichtes und der zur Hebung nötigen Innervation. Durch diese sogenannten „Einstellungshebungen“ wird also die assoziative Verknüpfung zustande gebracht, die die notwendige Bedingung dafür ist, daß die Innervation den sukzessiv zu hebenden Gewichten entsprechen wird. Die durch eine solche Einübung bestimmter Innervationsstärken erworbene Fähigkeit hat aber nur eine relativ kurze Dauer. Handelt es sich um qualitativ verschiedene Bewegungen, verschwindet die einmal erworbene Fähigkeit wohl nie vollständig. Hat man z. B. das Maschinenschreiben gelernt, kann man sich darauf einstellen und es noch mit leidlicher Fertigkeit ausüben, selbst wenn man es jahrelang nicht geübt hat. Einübung und Einstellung können also hier zeitlich weit voneinander rücken. Dies ist aber kaum möglich, wo es sich um nur intensiv verschiedene Bewegungen handelt, indem die durch die Einstellungshebungen erworbene Fähigkeit sehr bald verlernt wird. Da diese besonderen Einstellungen der Bewegungsstärke jedenfalls nur Spezialfälle der motorischen Verknüpfungen sind, kommen wir später auf dieselben zurück (Kap. 69).

Der Umstand, daß Einübung und Einstellung in einem speziellen Falle zusammenfallen, während sie sonst ganz verschiedene Vorgänge sind, hat der genauen Bestimmung des Begriffes Einstellung erhebliche Schwierigkeiten bereitet. Müller und Schumann, die wohl als die ersten das Wort Einstellung in die Psychologie einführten [1], gingen von ihren Beobachtungen über die Einstellung nur intensiv verschiedener Bewegungen aus, und dieser Gesichtspunkt wurde auch von Steffens [2] und in der Hauptsache ebenfalls von Ebbinghaus [3] festgehalten. Kries [4] gab aber diesem Begriffe die hier dargestellte, viel weitere Bedeutung, die später von Ach [5] und Iserlin [6] klargelegt wurde.

Die Eingebung, Suggestion, ist eine unwillkürlich entstandene Einstellung. Wir haben im vorhergehenden gesehen, wie jede Aufmerksamkeitskonzentration darauf beruht, daß ein Beachtungsmotiv eine bestimmte Vorstellung anbahnt. Wenn

---

[1]) Pflügers Archiv Bd. 45, 1889, S. 37 u. f.
[2]) Zeitschrift für Psych. Bd. 23, 1900, S. 242 u. f.
[3]) Psychologie, Bd. 1, 1902, S. 680 u. f.
[4]) Zeitschrift für Psych. Bd. 8, 1895, S. 3 u. f.
[5]) Die Willenstätigkeit. 1905, S. 187 u. f.
[6]) Kraepelins Psychol. Arbeiten, Bd. 6, 1910, S. 5 u. f.

die Aufmerksamkeit willkürlich gelenkt wird, heißt dies nur, daß das Beachtungsmotiv von innen, von anderen Vorstellungen hervorgerufen wird. Bei der unwillkürlichen Fesselung der Aufmerksamkeit kann zwar ein äußerer Reiz einen neuen Bewußtseinszustand erregen und damit den vorhandenen hemmen, stören; eine dauernde Konzentration der Aufmerksamkeit kommt aber nur dann unwillkürlich zustande, wenn es dem äußeren Reize gelingt, ein Beachtungsmotiv hervorzurufen (S. 503). Es ist aber nicht durchaus notwendig, daß ein Beachtungsmotiv im engeren Sinne, die Vorstellung von einem mittels des Gegenstandes der Aufmerksamkeit zu erreichenden Zwecke, zustande kommt. Jedes dauernde Gefühl, das eine bestimmte Vorstellung anbahnt und, solange es besteht, andere Zustände ausschließt, hat augenscheinlich genau dieselbe Wirkung, nämlich daß ein bestimmter Zustand im Bewußtsein vorherrscht. Wird nun ein solches Gefühl von einem äußeren Reize erregt, und ist ferner — was oft vorkommen kann — der vom Gefühl angebahnte und daher vorherrschende Zustand den eigenen Interessen des Individuums fremd oder gar denselben widerstreitend, so ist also der gesamte Bewußtseinsinhalt unwillkürlich entstanden, von außen eingegeben. Der Zustand wird daher eine Eingebung, Suggestion, genannt. Eine scharfe Grenze zwischen der willkürlichen, von innen entstandenen Einstellung und der unwillkürlichen, von außen gegebenen Suggestion gibt es jedoch nicht. Wenn der suggerierte Zustand nämlich in keinem zu schroffen Gegensatz zu den Interessen des Individuums steht, kann er leicht nachträglich ein Beachtungsmotiv erwecken, so daß der Zustand ferner sowohl willkürlich als unwillkürlich festgehalten wird. In solchen Fällen wird es dem Individuum fast unmöglich, zu entscheiden, was ihm selbst eingefallen und was ihm von außen eingegeben ist.

Die Leichtigkeit, mit der Suggestionen zustande kommen, ist im höchsten Grade individuell verschieden. Je weniger die Aufmerksamkeit willkürlich bestimmt ist, je leichter sie von äußeren Reizen gefesselt wird, um so größer ist die *Suggestibilität*, die Empfänglichkeit für Eingebungen von der Außenwelt. Das Kind und der primitive Mensch, deren Bewußtseinsinhalte nur wenig entwickelt sind, sind daher auch besonders suggestibel, weil sie nur spärliche Motive zur willkürlichen Richtung der Aufmerksamkeit besitzen. Jeder neue Reiz fesselt sofort die Aufmerksamkeit des kleinen Kindes

und selbst schmerzliche Empfindungen, wenn sie nur nicht zu stark sind, können auf die Weise aufgehoben werden, daß die Aufmerksamkeit durch einen neuen Reiz abgelenkt wird. Stößt sich z. B. das herumkriechende Kind an ein Tischbein, gelingt es oft, das Weinen zu verhindern, wenn man mit einem äußerst vergnügten Gesichte das Ereignis als einen drolligen Vorfall behandelt, der nur die Gesundheit des Tisches gefährdet. Im Laufe der Jahre nimmt die Suggestibilität mit wachsender Entwicklung des Bewußtseins immer mehr ab. Es ist aber eher die Anzahl der Quellen der Suggestion als die Stärke der Suggestibilität, die sich beschränkt; von einem völligen Aufhören der Suggestibilität kann daher kaum die Rede sein.

Naturphänomene, die starke Gefühle erwecken, können Suggestionen herbeiführen. Der schon oben (S. 344) erwähnte Höhenschwindel ist zweifellos eine Erscheinung dieser Art. Wenn man sich in einer Lage befindet, wo ein Abstürzen zu befürchten ist, kann die Furcht vor dem Fallen so lebhaft werden, daß man sich abwenden und die Augen schließen muß, um nicht hinunter zu springen. Die „anziehende Macht des Abgrundes" beruht einfach darauf, daß die Vorstellung von einer Bewegung in die Tiefe hinab durch die Furcht festgehalten wird und daher schließlich so lebhaft werden kann, daß sie die Muskelbewegung auslöst. Daß es sich hier um eine reine Suggestivwirkung handelt, geht wohl am besten daraus hervor, daß äußere Umstände, z. B. eine in Brusthöhe ausgespannte Schnur, die die Furcht beseitigten, ebenfalls den Schwindel aufheben, während solche Umstände, z. B. der Anblick eines fallenden Gegenstandes, die die Bewegungsvorstellung lebhafter machen, leicht eine Katastrophe herbeiführen.

Die Suggestibilität zeigt sich am deutlichsten im Verkehr mit anderen Menschen, was wohl eine einfache Folge davon ist, daß unsere Beziehungen zu anderen Menschen die zahlreichsten Quellen starker Gefühle sind. Zum Hervorrufen von Suggestivwirkungen sind besonders diejenigen Gefühle geeignet, die, wie Liebe, Zutrauen, Respekt und Furcht, die Aufmerksamkeit dauernd auf eine bestimmte Person lenken. Hierdurch wird nämlich erreicht, daß die uns betreffenden Äußerungen und Handlungen der Personen, die uns solche Gefühle einflößen, immer wieder im Bewußtsein hervortreten und somit einen dauernden Einfluß ausüben können. Aus dem Umstande, daß es nur bestimmte Gefühle sind, die die Suggestionen herbeiführen, ergibt sich die Relativität der

Suggestibilität. Eine bestimmte Person kann einer anderen gegenüber äußerst suggestibel sein, während sie von wiederum anderen gar nicht beeinflußt wird.

Indem man von der normalen Suggestibilität ausgeht, kann man auf verschiedene Weise einen anormalen Zustand, die *Hypnose*, herbeiführen, die sich besonders durch eine gesteigerte Suggestibilität auszeichnet. Auf die Eigentümlichkeiten dieses Zustandes sowie die Wirkungen, die während desselben durch Suggestionen zu erreichen sind, können wir hier nicht eingehen; in betreff derselben muß auf die Spezialdarstellungen des Hypnotismus verwiesen werden.[1]) Übrigens können auch unter normalen Verhältnissen die Wirkungen der Suggestionen mannigfacher Art sein, indem eine im Bewußtsein vorherrschende Vorstellung je den Umständen nach nicht nur andere Vorstellungen, sondern auch organische Veränderungen und Muskelbewegungen reproduzieren kann.

Erstens wird ein im Bewußtsein vorherrschendes Erinnerungsbild sehr leicht halluzinatorisch, d. h. es tritt als Wahrnehmung auf, obwohl tatsächlich kein Reiz gegenwärtig ist. Die oben (S. 488) erwähnten Versuche, wo Geruchsempfindungen angegeben wurden, obwohl keine Geruchsreize vorhanden waren, sind jedenfalls teilweise als suggerierte Halluzinationen aufzufassen. Nur weil die Versuchspersonen den Worten des Versuchsleiters vertrauten, traten die Empfindungen hervor; schon der leiseste Verdacht, daß eine Täuschung beabsichtigt wäre, würde ein positives Ergebnis ausgeschlossen haben. — In spiritistischen Seancen ereignet es sich gar nicht selten, daß die meisten der Anwesenden Geister sehen, sobald nur eine Person behauptet, daß etwas da ist. Solche Visionen können ohne irgendwelche objektiven Ursachen zustande kommen, wenn man nur im voraus von der Möglichkeit der angeblichen Wahrnehmung fest überzeugt ist; der Skeptiker aber sieht trotz der Verbalsuggestion so wenig wie zuvor.

Das wesentlichste. weitaus häufigste Resultat der Suggestionen ist zweifellos das Zustandekommen der Überzeugungen, des Glaubens. Von all den positiven Kenntnissen, die wir uns das Leben hindurch aneignen, ist nur ein sehr geringer Teil eigentliches „Wissen“ in dem Sinne, daß wir entweder die Tatsachen selbst beobachtet haben oder, wie in

---

[1]) Bernheim: De la suggestion. Paris 1888. Forel: Der Hypnotismus und der suggestiven Psychotherapie. 4. Aufl. Stuttgart 1902. u. z. a.

betreff der Sätze der Mathematik, ihre Gültigkeit durch logische Schlußfolgerungen eingesehen haben. Der größte Teil unseres sogenannten Wissens ist einfach Glaube, Überzeugungen, die wir kraft unseres Zutrauens zu unseren Lehren und Lehrbüchern als Wissen hinnehmen. Es kann natürlich nicht anders sein, da kein Mensch die Richtigkeit aller Angaben kontrollieren kann; die Unvermeidlichkeit der Suggestionen hebt aber die Tatsache nicht auf, daß „Wissen" meistenteils nur „Überzeugung" ist.

Die Suggestion kann ferner organische Veränderungen herbeiführen. In einigen Fällen handelt es sich einfach um die Erregung einer Gemütsbewegung, die von den betreffenden körperlichen Veränderungen begleitet ist. Das oben erwähnte Beispiel, wo das kleine Kind seinen Schmerz vergißt, indem ihm ein anderes Gefühl eingegeben wird, kann hierher gerechnet werden. Merkwürdiger sind aber die zahlreichen Fälle, wo die bloße Vorstellung von einer bestimmten organischen Veränderung entweder sofort oder nach und nach diese Veränderung herbeiführt. Daß Amulette, Zaubersprüche, Beschwörungen, Voltakreuze u. dgl. Blutungen stillen und verschiedene Krankheiten heilen können, wenn man nur das nötige Zutrauen hegt, unterliegt keinem Zweifel. Wären solche Mittel durchaus wertlos, würden sie sich ganz gewiß nicht bis zu unseren Tagen erhalten haben. Da übrigens ganz analoge Mittel in den Händen einsichtsvoller Ärzte sich als psychotherapeutische Hilfsapparate oft bewährt haben, sind solche Wirkungen der Suggestion gar nicht zu bezweifeln. Auf die Ursache dieser Wirkungen gehen wir in Kap. 87 näher ein.

Schließlich können sowohl einfache Muskelbewegungen als kompliziertere Handlungen durch Suggestion zustande gebracht werden. Die unmittelbare, oft als instinktiv bezeichnete *Nachahmung* ist einfach nur die Wirkung motorischer Suggestionen durch gesehene Bewegungen ausgelöst. Das Beispiel steckt an, d. h. man handelt unter gegebenen Umständen so, wie man andere handeln gesehen hat. Und ganz besonders wird man sein Handeln nach denjenigen Personen modeln, die man in irgendeiner Beziehung als Muster ansieht, wie man auch ihre Ratschläge und Anweisungen gern befolgt. Schicksalsschwerere Folgen können die Suggestionen haben, wenn die Suggestibilität durch eine abergläubische Ehrfurcht vor den Aussagen eines Zauberes oder „Mediums" gesteigert

ist. In Zeiten, wo man gewissen Personen die Gabe, in die Zukunft zu sehen, zutraute, hat dies Zutrauen häufig geradezu die Erfüllung der Weissagung bewirkt, weil der Betreffende unter der suggestiven Macht der Weissagung ganz unbewußt in Übereinstimmung mit derselben handelte.[1])

Dreiundsechzigstes Kapitel.

Verlauf und sekundäre Wirkungen der Aufmerksamkeit.

Wenn die Aufmerksamkeit sich auf eine Wahrnehmung lenkt, tritt diese letzere nicht sofort mit der möglichst großen Klarheit hervor; die Adaptation an den erwarteten Reiz dauert gewöhnlich 1—1,5 Sek. Überall, wo es darauf ankommt, mit gespannter Aufmerksamkeit aufzufassen, läßt man daher immer ein Signal dem zu beachtenden Reize um die erwähnte Zeit vorausgehen. Viel länger als diese Zeit darf das Intervall zwischen Signal und Reiz indes auch nicht dauern, denn die Aufmerksamkeit scheint relativ schnell zu „ermüden“, d. h. die Spannung läßt nach, wenn der Aufmerksamkeit kein bestimmtes Objekt in einem solchen leeren Intervall dargeboten wird.

In betreff der Ermüdbarkeit der Aufmerksamkeit scheinen sich übrigens die Tatsachen zu widersprechen. Einerseits kann von einer gewissen *Inertie der Aufmerksamkeit* die Rede sein. Man hält leichter etwas Gegebenes fest, als man etwas zu Suchendes findet.[2]) Beobachtet man einen fliegenden Vogel, kann man ihn noch in einer Entfernung sehen, wo man ihn ganz gewiß nicht hätte entdecken können. Ebenfalls ist es meistens recht schwierig, der Aufmerksamkeit eine neue Richtung zu geben, wenn sie längere Zeit hindurch in einer bestimmten Richtung gelenkt gewesen ist. Ferner wird das Einschlafen oft dadurch verzögert, daß man sich von seinen Gedanken nicht losmachen kann; die Beseitigung einer bestehenden Aufmerksamkeitsanspannung, welche eine wesentliche Bedingung des Einschlafens ist, kann somit auch Schwierigkeiten bereiten. Andererseits hat die Aufmerksamkeit stets einen *intermittierenden Charakter.*[3]) Es ist äußerst schwierig,

[1]) Lehmann: Aberglaube und Zauberei. 2. Aufl. 1908. Kap. 25.
[2]) Stumpf: Tonpsychologie. Bd. 1. S. 386.
[3]) Wundt: Phys. Psychol. 4. Aufl. Bd. 2. S. 295.

minutenlang eine einzelne Empfindung oder Vorstellung festzuhalten. Versuche ich z. B. das Erinnerungsbild einer Farbe oder die Form eines Gegenstandes mir lebhaft vorzustellen, können die Stärke und Klarheit der Bilder während etwa 30 Sek. zunehmen; dann springt die Aufmerksamkeit fast unvermeidlich auf etwas anderes über, das zum betreffenden Bilde in irgendeiner Beziehung steht. Diese Tendenz der Aufmerksamkeit, sich auf einen anderen Gegenstand zu richten, ist leicht erklärlich: jede Hemmung eines Zustandes ist zugleich eine Bahnung derselben. Die bei einseitiger Lenkung der Aufmerksamkeit gehemmten Vorstellungen werden gleichzeitig angebahnt, so daß die Stärke der Aufmerksamkeitsanspannung nur nachzulassen braucht, damit sie im Bewußtsein hervortreten werden. Da ferner bei der Lenkung der Aufmerksamkeit in einer bestimmten Richtung besonders solche Vorstellungen gehemmt werden, die in irgendeiner Beziehung zum Gegenstand der Aufmerksamkeit stehen, so treten eben diese leicht hervor. Eine dauernde Aufmerksamkeit wird mithin möglich, wenn der Gegenstand derselben fortwährend wechselt, und die Aufmerksamkeit geht dabei besonders zu den Vorstellungen über, die zu den eben Festgehaltenen in Beziehung stehen. Hieraus ergibt sich also sowohl die Inertie als der intermittierende Charakter der Aufmerksamkeit: *der Gegenstand der Aufmerksamkeit wechselt, die Richtung derselben aber bleibt konstant.*

Von den *sekundären Wirkungen* der Aufmerksamkeit betrachten wir hier nur die Zeitverschiebung zwischen gleichzeitigen, beachteten und unbeachteten Sinnesreizen und die physiologischen Begleiterscheinungen der Aufmerksamkeitsanspannung.

Wenn irgendeine stetige Reihe von Wahrnehmungen gegeben ist, und die Aufgabe gestellt wird, zu beurteilen, mit welchem Glied der Reihe eine Wahrnehmung ganz anderer Art zeitlich zusammentrifft, so zeigt sich dies Urteil in hohem Grade schwankend, von der Richtung der Aufmerksamkeit abhängig. Am einfachsten läßt sich die stetige Reihe von Wahrnehmungen mittels Gesichtsbilder herstellen, indem ein Zeiger sich über einer eingeteilten Scheibe entweder sprungweise oder mit gleichmäßiger Geschwindigkeit bewegt, während die disparate Empfindung entweder durch einen Schallreiz oder durch einen Druckreiz erregt wird. Es wird also die Aufgabe sein, zu bestimmen, in welcher Stellung sich der Zeiger be-

findet in dem Momente, wo z. B. der Schall gehört wird. Die Erfahrung lehrt, daß diese Bestimmung nur ausnahmsweise richtig wird; gewöhnlich findet eine Zeitverschiebung statt, die entweder positiv oder negativ sein kann. Positiv nennt man die Verschiebung, wenn der Schall gleichzeitig mit einer späteren Zeigerstellung aufgefaßt wird, also gleichsam in der Bewegungsrichtung des Zeigers verschoben ist. negativ dagegen, wenn der Schall in der entgegengesetzten Richtung verlegt wird. Die Versuche zeigen, daß eine Bestimmung bei einmaliger Rotation des Zeigers kaum möglich ist, indem man, wenn der Schall zum erstenmal gehört wird, nur die Gegend angeben kann, wo der Zeiger sich befand. Trifft der Schall aber während dauernder Rotation stets bei derselben Stellung des Zeigers ein, so wird das Urteil nach und nach sicherer. Man findet dann, daß die Zeitverschiebung negativ wird, wenn die Aufmerksamkeit hauptsächlich auf den Schall, positiv dagegen, wenn sie auf die sukzessiven Zeigerstellungen gerichtet ist. In beiden Fällen erweist sich die Größe der Verschiebung von der Rotationsgeschwindigkeit einigermaßen unabhängig, wenn die Richtung der Aufmerksamkeit willkürlich festgehalten wird [1]).

Aus dem Angeführten geht hervor, daß die richtige Auffassung, die Angabe der Zeigerstellung, wo der Schall tatsächlich eintrifft, nur durch eine Verteilung der Aufmerksamkeit möglich wird. Man merkt während der sukzessiven Rotationen, wie der Schall sich bald in positiver, bald in negativer Richtung verschiebt, je nachdem man die Aufmerksamkeit hauptsächlich auf den Schall oder auf den Zeiger lenkt. und in einer größeren Anzahl Rotationen kann man auf diese Weise die mittlere, ungefähr richtige Stellung finden.

Die Größe der Verschiebungen bei willkürlicher auditiver. auf den Schall gelenkter, oder visueller, auf den Zeiger gelenkter Aufmerksamkeit sowie die Genauigkeit der Bestimmungen der richtigen Zeigerstellung sind von der Stärke der Aufmerksamkeitsanspannung abhängig. Die Größen sind daher auch individuell verschieden und können, wie wir später (S. 543) sehen werden, als Maß der maximalen Aufmerksamkeitsanspannung verschiedener Individuen dienen. In solchen Fällen muß darauf geachtet werden, daß die Zeitverschiebung nicht unabhängig ist von der Stellung des Zeigers; wenn der Zeiger

[1]) Lehmann: Körperliche Äußerungen. Bd. 2. S. 279.

sich aufwärts bewegt, geht die Verschiebung mehr in negativer Richtung, als wenn der Zeiger sich abwärts bewegt.[1]) Handelt es sich also darum, die Größe der Verschiebung verschiedener Individuen zu vergleichen, sind am besten so viele Bestimmungen bei verschiedenen Zeigerstellungen auszuführen, daß die von den objektiven Verhältnissen herrührenden Variationen ausgeglichen werden können.

Um eine Vorstellung von den Größen zu geben, die man bei solchen Versuchen erhalten kann, seien hier einige Messungen angeführt. Die Rotationszeit des Zeigers war konstant 2 Sek. Die drei verschiedenen Richtungen der Aufmerksamkeit: auf den Schall (auditiv), auf den Zeiger (visuell) und auf die richtige Angabe der Zeigerstellung (richtig), wurden willkürlich von den beiden geübten Beobachtern eingestellt. Bei jeder Aufmerksamkeitsrichtung wurden 10 Versuche mit sehr verschiedenen Zeigerstellungen ausgeführt; die in Tausendstel Sekunden angegebenen Zeitverschiebungen *Z* sind mithin das Mittel aus je 10 Einzelbestimmungen. Außer diesen Werten ist noch die mittlere Variation *MV* derselben angeführt (Tab. 38). Aus den Zahlen geht hervor, daß die negative Verschiebung durchgängig größer als die positive ausfällt, und daß die Bestimmung der richtigen Zeigerstellung relativ unsicher ist; die mittlere Variation der Werte ist hier am größten.

Tab. 38.

	L			P		
	aud.	vis.	richt.	aud.	vis.	richt.
Z.	— 175	+ 152	— 3	— 127	+ 85	— 42
M. V.	42	41	66	57	35	58

Wird die Aufmerksamkeit bei solchen Versuchen in keine bestimmte Richtung willkürlich gelenkt, sondern nur auf die möglichst genaue Bestimmung der mit dem Schallreize tatsächlich gleichzeitige Zeigerstellung eingestellt, so zeigt es sich, daß die Zeitverschiebung bei geringer Geschwindigkeit des Zeigers dennoch negativ wird. Mit wachsender Geschwindigkeit wird diese Verschiebung immer kleiner, um schließlich positive Werte anzunehmen[2]).

Die angeführten Tatsachen sind nach unserer Theorie der Aufmerksamkeit leicht zu erklären. Wird die Aufmerksamkeit z. B. auf den Schall gerichtet, so wird dadurch die Schall-

[1]) Geiger: Neue Komplikationsversuche. Phil. Stud. Bd. 18. S. 387 u. 418 u. f.

[2]) Wundt: Physiol. Psychol. 2. Aufl S. 266 u. f.

empfindung angebahnt, während die Wahrnehmung der sukzessiven Zeigerstellung gehemmt wird. Die Bahnung der Schallempfindung hat aber zur Folge, daß die betreffenden Neurone relativ leicht vom äußeren Reiz in Bewegung versetzt werden, so daß das Ansteigen der Empfindung schnell stattfindet. Andererseits wird die Auffassung der Zeigerstellungen erschwert, so daß man sich der mit dem Schalle tatsächlich gleichzeitigen Stellung erst kurze Zeit nachher bewußt wird. Der Schall muß daher als gleichzeitig mit einer vorhergehenden Zeigerstellung erscheinen, d. h. es findet eine negative Zeitverschiebung statt. Bei Konzentration der Aufmerksamkeit auf den Zeiger wird umgekehrt die Auffassung der Zeigerstellung erleichtert, die des Schalles erschwert, so daß man sich des Schalles erst dann bewußt wird, wenn der Zeiger etwas vorwärts gegangen ist; der Schall wird somit mit einer späteren Zeigerstellung gleichzeitig aufgefaßt, d. h. es findet eine positive Zeitverschiebung statt[1]). Sucht man dagegen die wahre Stellung des Zeigers in dem Momente, wo der Schall erklingt, zu bestimmen, so erfordert die Lösung dieser Aufgabe, wie oben erwähnt, eine Verteilung der Aufmerksamkeit. Je schneller aber der Zeiger rotiert, um so mehr wendet sich die Aufmerksamkeit von dem Schalle ab, da die Auffassung des schneller rotierenden Zeigers eine größere Anspannung in dieser Richtung erheischt. Hieraus folgt dann einfach, daß die Zeitverschiebung mit wachsender Geschwindigkeit immer kleinere negative Werte aufweist und schließlich positiv wird.

Die physiologischen Begleiterscheinungen der Aufmerksamkeitsanspannung sind erstens die Akkommodation des betreffenden Sinnesorgans für den beachteten Reiz, zweitens Bewegungen der willkürlichen Muskulatur und drittens Veränderungen der vegetativen Funktionen, des Herzschlages, der Atmung und der Gefäßmuskulatur.

Wird die Aufmerksamkeit auf irgendeine Sinnesempfindung gelenkt, treten reflektorisch solche Veränderungen des Sinnesorgans ein, daß der Reiz unter den möglichst günstigen Bedingungen einwirkt. Am besten sind diese Veränderungen am Auge zu beobachten. Befindet sich der Gegenstand der Aufmerksamkeit in der Peripherie des Gesichtsfeldes, so drehen sich die Augen, bis die Gesichtslinien sich in dem Punkte

---

[1]) Lehmann: Körperliche Äußerungen. Bd 2. S. 276.

des Raumes schneiden, wo das beachtete Objekt ist. Hierdurch wird erreicht, daß der Gegenstand sich auf die Netzhaut an der Stelle des deutlichsten Sehens abbildet. Gleichzeitig findet aber die Akkomodation der Linse statt, so daß ein scharfes Bild des Objektes entsteht, und außerdem verändert sich die Pupillenweite, wodurch ebenfalls ein möglichst scharfes Bild erzielt wird (Kap. 78). Da diese Veränderungen reflektorisch eintreten, können sie entweder gar nicht oder nur schwierig gehemmt werden. Es erfordert erhebliche Übung, um die Aufmerksamkeit auf einen Punkt in der Peripherie des Gesichtsfeldes zu lenken, ohne daß die Augen entsprechende Bewegungen ausführen, so daß der Punkt fixiert wird. Diese Augenbewegungen treten übrigens nicht nur ein, wenn die Aufmerksamkeit auf das Gesichtsbild gelenkt wird, sondern auch dann, wenn die Wahrnehmung mittels eines anderen Sinnesorgans stattfindet. Lauscht man auf den Ton einer an das rechte Ohr gehaltenen Stimmgabel, so drehen sich die Augen, als ob man die Gabel sehen wollte. Auch wenn die Aufmerksamkeit von allen äußeren Reizen abgelenkt, nur auf Vorstellungen gerichtet wird, treten bestimmte Veränderungen der Augen ein. Die Linsen werden flach und die Augenachsen parallel, als ob ein sehr entfernter Gegenstand beobachtet würde [1]).

Inwiefern sich das Ohr für bestimmte Töne akkommodieren läßt, ist noch unentschieden (S. 266), und es muß daher dahingestellt bleiben, ob die Lenkung der Aufmerksamkeit auf Gehörsreize von Veränderungen im Ohre begleitet ist. Dagegen sind solche Akkommodationsvorgänge bei Geruchs- und Geschmacksreizen leicht zu beobachten. Ein langsames, tiefes Atemholen tritt unwillkürlich ein, wenn es sich darum handelt, eine Geruchsempfindung möglichst deutlich aufzufassen, und Geschmacksstoffe werden mit der Zunge im Munde umhergeführt, um mit den Papillen in innige Berührung gebracht zu werden. Unwillkürliche Bewegungen finden ebenfalls bei der Beurteilung von Gewichten statt. Indem dieselben abwechselnd gehoben und wieder gesenkt werden, kommen neben den Druckempfindungen zugleich Bewegungsempfindungen zustande, wodurch eine genauere Beurteilung möglich wird.

Die zweite Gruppe körperlicher Veränderungen, die die Aufmerksamkeitsanspannung begleiten, sind Muskelbewegungen,

[1]) Heinrich, Zeitschr. für Psychol. Bd. 9. S. 342 u. f.

die ohne eine genauere Auffassung des Wahrgenommenen herbeizuführen, jedoch ebenso unwillkürlich und fast unvermeidlich zustande kommen wie die eben erwähnten. Hierher sind die mimischen und pantomimischen Bewegungen zu rechnen, die mit der Akkommodation der verschiedenen Sinnesorgane einhergehen. Wird die Aufmerksamkeit äußeren Gegenständen zugewendet, werden die Augen weit geöffnet und die Augenbrauen in die Höhe gezogen, wodurch die Stirnhaut horizontale Falten bildet. Beim Lauschen werden die Augen gewöhnlich geschlossen, die Atmung wird langsamer und oberflächlicher, und der Kopf und oft zugleich der ganze Körper neigen sich gegen die Schallquelle. Bei der nach innen, auf Vorstellungen gerichteten Aufmerksamkeit werden die Brauen herabgezogen, wodurch die Augen zurücktreten. und es bilden sich senkrechte Falten der Stirnhaut. Außerdem wird der Mund fest geschlossen und die Fäuste oft geballt. Bei kurzdauernder, aber sehr starker Konzentration der Aufmerksamkeit können Spannungsempfindungen über größere Partien des Körpers sich erstrecken, und sie treten oft plötzlich, ruckartig, ein [1]). Die verschiedenen Ausdrucksbewegungen kommen gewöhnlich um so stärker zum Vorschein, je stärker die Anspannung der Aufmerksamkeit wird. Sie wachsen daher immer mit der Stärke der Störungen, die bei der Lenkung der Aufmerksamkeit zu überwinden sind, und wenn keine inneren oder äußeren Störungen vorkommen, werden sie um so mehr hervortretend, je stärker die Anstrengung wird, die die Arbeit erfordert. Wenn die Anspannung eine gewisse Grenze überschreitet, wird sie leicht unlustbetont, weshalb man den Zustand meist als ein Anstrengungs- oder Tätigkeitsgefühl bezeichnet (S. 405). Da die beiden Erscheinungen, das Anstrengungsgefühl und die körperlichen Äußerungen, stets miteinander wachsen, ist das erstere aller Wahrscheinlichkeit nach einfach eine Verschmelzung der verschiedenen betonten Empfindungen der Bewegungen und der Muskelspannungen.

Ach behauptet zwar, daß neben den Spannungsempfindungen ein Zustand der Anstrengung bemerkt werden könne [2]), was aber meiner Erfahrung nach nur auf ungenauer Beobachtung beruht. Solange nämlich die Aufmerksamkeit von einer bestimmten Arbeit in Anspruch genommen wird, merkt man nur das dumpfe, unklare Anstrengungsgefühl: lenkt man aber die Aufmerksamkeit auf das

[1]) Ach: Über den Willensakt und das Temperament. Leipzig 1910. S. 238.
[2]) Ach, a. a. O. S. 145.

letztere — wobei die auszuführende Arbeit natürlich stockt — so zerlegt es sich in eine Reihe von Spannungs- und ähnlichen Organempfindungen. Es handelt sich daher gewiß nur um dieselbe psychische Erscheinung, die einmal als Einheit, Totalgefühl, aufgefaßt, ein anderes Mal durch Analyse zerlegt wird. Daß diese beiden Auffassungen als verschiedene, gleichzeitige Erscheinungen aufgestellt werden, liegt wohl in der Ach'schen Methode der systematischen Selbstbeobachtungen, die zwar eine Unmenge mehr oder weniger zuverlässiger Einzelheiten ans Licht fördert, dagegen kaum der Aufgabe gerecht wird, ihre gegenseitigen Beziehungen festzustellen.

Zu dieser Gruppe gehören ferner die oben (S. 475) erörterten ideomotorischen Bewegungen, motorische Reproduktionen, die von Bewegungsvorstellungen oder von Vorstellungen, die oft mit Bewegungen verbunden gewesen sind, ausgelöst werden. Diese von Vorstellungen reproduzierten unwillkürlichen Bewegungen sind jedoch nur ausnahmsweise so stark, daß sie ohne künstliche Vorrichtungen bemerkt werden können. Direkt sichtbar werden solche Bewegungen dagegen leicht, wenn sie durch die Wahrnehmung von Dingen, die sich bewegen, erregt werden. Der interessierte Zuschauer bei einem Fußball- oder Kegelspiel macht häufig unwillkürliche Bewegungen in der Richtung, die er dem Balle oder der Kugel zu geben wünscht. Bei den Gesellschaftsspielen, wo eine Person ein Ding aufsuchen soll, an welches die Anwesenden denken, wird der Suchende einfach durch die unwillkürlichen Bewegungen und Ausrufe der Mitspielenden geleitet [1]).

Die dritte Gruppe körperlicher Erscheinungen, die die Aufmerksamkeit begleiten, sind die Veränderungen der vegetativen Funktionen, die schon im Kap. 19 erörtert wurden. Veränderungen des Herzschlags, der Atmung und des Lumens der Blutgefäße gehen mit jedem zentralen Vorgang einher, und da die Aufmerksamkeit, unserer Auffassung zufolge, keinem besonderen Vorgang entspricht, sondern einfach durch die Einwirkung eines psychophysiologischen Vorgangs, des Beachtungsmotivs, auf einen anderen, den Gegenstand der Aufmerksamkeit, zustande kommt, so steht auch nicht zu erwarten, daß die Aufmerksamkeit an und für sich besondere organische Veränderungen hervorrufen wird. Es kann höchstens davon die Rede sein, daß die Lenkung der Aufmerksamkeit auf irgendeine Erscheinung die mit dieser einhergehenden organischen Veränderungen verstärkt, indem der ganze zentrale Vorgang durch das Entstehen des Beachtungsmotivs komplizierter wird.

---

[1]) Pillsbury: Attention. S. 18 u. f.

Was die experimentelle Forschung übrigens in dieser Beziehung zutage gefördert hat, können wir am besten gleichzeitig mit der Darstellung der körperlichen Äußerungen anderer psychischen Erscheinungen behandeln (vgl. Kap. 87).

Vierundsechszigstes Kapitel.

Psychische Arbeit.

Konzentration und Distribution der Aufmerksamkeit. Unseren theoretischen Voraussetzungen zufolge entstehen psychische Erscheinungen nur durch Umwandlung der chemischen Energie der Gehirnneurone. Jeder einfache oder zusammengesetzte Bewußtseinszustand repräsentiert somit eine bestimmte Energiemenge und läßt sich daher mit einem gewissen Recht als „psychische Arbeit“ bezeichnen. Eine solche Verallgemeinerung dieses Begriffes ist indes unpraktisch, weil im täglichen Leben die psychischen Zustände, ohne Rücksicht auf ihre Entstehungsweise, uns durchaus nicht den Charakter einer Arbeit zu haben scheinen. Wir lassen vielmehr „die Gedanken ruhen“, wenn die Vorstellungen nach ihren eigenen Gesetzen gehen und kommen, wie es bei der Wachträumerei der Fall ist. Von psychischer Arbeit wird erst dann die Rede sein, wenn wir tätig sind, wenn die Aufmerksamkeit in irgendeiner Richtung konzentriert wird. Das subjektive Maß der psychischen Arbeit ist einfach die Aufmerksamkeitsanspannung, die sowohl mit der Konzentration in bestimmter Richtung als mit der Komplikation der Tätigkeit wächst (S. 501). Bezeichnen wir als *Distribution* der Aufmerksamkeit ihre Verteilung auf einen komplizierten Inhalt, so haben wir als Maß der Distribution die Anzahl der gleichzeitig festzuhaltenden Vorstellungen. Die Stärke der Konzentration läßt sich aber subjektiv nicht messen, sondern nur recht unbestimmt abschätzen, und wenn wir die Grenzen der Selbstbeobachtung nicht überschreiten, können wir daher nur feststellen: *Die Größe der psychischen Arbeit ist durch die Aufmerksamkeitsanspannung bestimmt, die sowohl mit der Konzentration als mit der Distribution der Aufmerksamkeit wächst.*

Die Stärke der Aufmerksamkeitskonzentration läßt sich indes an ihrem Erfolge messen. Eine solche meßbare Wirkung der Konzentration in bestimmter Richtung ist die Hemmung.

die ein anderer zentraler Vorgang dadurch erleidet, und diese Hemmung wächst sowohl mit der Konzentration als mit der Distribution, der Verteilung der Aufmerksamkeit auf einen komplizierten Inhalt. Beim Auswendiglernen von Silbenreihen z. B. sahen wir, wie die Hemmung fast proportional zur Anzahl der zu erlernenden Silbenreihen wuchs (S. 502). Als Maß der Konzentration können wir daher die Hemmung eines gegebenen Vorgangs nehmen, die bei konstanter Distribution erhalten wird, und als Maß der Distribution haben wir ferner die Anzahl der gleichzeitig festzuhaltenden Vorstellungen. Da die beiden Größen gemessen werden können, läßt sich ein Maß der Aufmerksamkeitsanspannung und damit auch dasjenige der Größe der betreffenden psychischen Arbeit aufstellen, indem wir annehmen, daß *die von einer psychischen Arbeit erforderte Aufmerksamkeitsanspannung proportional zum Produkte der Konzentration und der Distribution sei.*

Es muß übrigens hervorgehoben werden, daß wir eine gegebene psychische Arbeit durchaus nicht mit einer beliebigen Aufmerksamkeitsanspannung ausführen können. Die Distribution ist stets durch die Art der Arbeit bestimmt, und die Konzentration kann nur innerhalb gewisser Grenzen von der Distribution unabhängig variieren. Bei geringer Distribution läßt sich, wie die Messungen zeigen (vgl. Tab. 37), die Konzentration im allgemeinen nicht so verstärken, daß die Hemmung eines anderen Vorgangs ebenso groß wird wie bei größerer Distribution und geringerer Konzentration. *Die maximale Aufmerksamkeitsanspannung, die sich in jedem gegebenen Falle zustande bringen läßt, ist von der Art der Arbeit und der dadurch bestimmten Distribution abhängig.*

Als Maß der Aufmerksamkeitskonzentration in einer bestimmten Richtung haben wir hier die Hemmung eines anderen gleichzeitigen Vorgangs genommen. Wie wir später sehen werden, ist hierdurch erreicht, daß die Größe der psychischen Arbeit, an der Aufmerksamkeitsanspannung gemessen, der zur Arbeit erforderlichen Energietransformation entspricht. Das subjektive und das objektive Maß der Leistung stimmen auf diese Weise völlig überein. Bisher hat man aber als Maß der Konzentration eine andere Erscheinung, die Klarheit des beachteten Bewußtseinsinhaltes, genommen, die augenscheinlich mit der Größe der Arbeit nichts zu tun hat. Indem man aber die Konzentration an der Klarheit des Bewußtseinsinhaltes mißt, kommt man zu dem Satze, daß

Konzentration und Distribution im umgekehrten Verhältnis zueinander stehen [1]). Im strengen mathematischen Sinne darf dieser Satz aber nicht aufgefaßt werden, und er erfordert daher eine Erläuterung, die sich durch ein Beispiel am besten geben läßt. Werden vier dreistellige Zahlen addiert, indem man die Summen der Einer, der Zehner usw. nicht niederschreibt, sondern im Gedächtnis behält, so daß das Resultat erst nach Erledigung der ganzen Rechnung notiert wird, dann bemerkt man leicht, wie unmöglich es ist, alle diese sukzessiv sich ergebenden Summen im Bewußtsein zu haben. Klar bewußt sind in jedem Augenblick eigentlich nur die eben ausgeführten Berechnungen, und die zu behaltenden Summen stehen recht nebelhaft und undeutlich im Hintergrunde, während die folgenden Berechnungen ausgeführt werden. Ob es überhaupt gelingt, das Resultat schließlich richtig anzugeben, beruht hauptsächlich darauf, ob das Rechnen sich so schnell erledigen läßt, daß die zuerst erhaltenen Summen dem Bewußtsein nicht völlig entschwunden sind, wenn die letzten gewonnen werden. Die Selbstbeobachtung zeigt uns in diesem und in ähnlichen Fällen, daß nur eine relativ geringe Anzahl Vorstellungen gleichzeitig klar sein kann, während die übrigen, die tatsächlich fortwährend bewußt sein müssen, weil sie schließlich bei darauf gelenkter Aufmerksamkeit klar hervortreten können, zeitweilig in der Peripherie des Bewußtseins sehr undeutlich dastehen.

Durch Versuche ist man zu ganz ähnlichen Ergebnissen gekommen. Catell ließ nebeneinander gezeichnete Striche eine sehr kurze Zeit (0,01 Sek.) beobachten und fand, daß nur 4—6 solche einfachen Objekte gleichzeitig erfaßt werden konnten. Waren mehrere Striche vorhanden, ließ sich ihre Zahl nur abschätzen, aber nicht genau angeben. Die Sicherheit dieser Schätzung schien aber keineswegs mit wachsender Anzahl abzunehmen; die Unklarkeit wächst also nicht der Anzahl der Objekte proportional. Wie die Striche verhielten sich übrigens auch andere einfache, bekannte Objekte, wie Buchstaben, Zahlen usw.; trotz der größeren Komplikation dieser Gegenstände konnte dennoch ungefähr dieselbe Anzahl richtig angegeben werden [2]). Selbstverständlich spielt die Komplikation

---

[1]) Meumann: Vorlesungen zur Einführung in die experim. Pädagogik. Leipzig 1907. Bd. 1, S. 79.

[2]) Über die Trägheit der Netzhaut. Phil. Stud. Bd. 3, S. 121.

der Objekte eine nicht geringe Rolle bei solchen Versuchen; sehr verwickelte geometrische Figuren von einer im voraus unbekannten Form können natürlich nicht wie die relativ einfachen und bekannten Zahlen und Buchstaben richtig erfaßt werden. Die erwähnte Methode führt daher zu keiner einwandfreien Bestimmung des „Umfanges" der Aufmerksamkeit[1]). Das für uns Hauptsächliche, daß nur eine relativ geringe Anzahl Objekte gleichzeitig klar hervortreten kann, ist jedenfalls dadurch über jeden Zweifel erhoben.

Der Satz von der umgekehrten Proportionalität der Konzentration und der Distribution ist mithin so zu verstehen, daß eine individuell wenig verschiedene, jedenfalls aber relativ geringe Anzahl Vorstellungen gleichzeitig mit fast maximaler Klarheit festgehalten werden kann; wird die Aufmerksamkeit auf eine größere Anzahl verteilt, so sinkt die Klarheit fast sämtlicher Vorstellungen, ohne daß es sich entscheiden läßt, ob die unklaren Vorstellungen einen verschiedenen Klarheitsgrad haben. *Es besteht somit gar keine Beziehung zwischen dem Bewußtseinsgrade, der Klarheit, eines beachteten Inhaltes und der Hemmung, die dieser Inhalt auf einen anderen gleichzeitigen Vorgang ausübt.* Der Klarheitsgrad wächst nämlich mit wachsender Konzentration, sinkt aber mit wachsender Distribution, während die Hemmung in beiden Fällen wächst. Die Klarheit der beachteten Vorstellungen ist somit für die Hemmung unwesentlich; es kommt vielmehr auf den Umfang des zu bewältigenden Stoffes an.

Die Klarheit des Bewußtseinsinhaltes ist also für die Größe der psychischen Arbeit belanglos; in anderen Beziehungen ist sie dagegen von der größten Bedeutung. Wird die Aufmerksamkeit nämlich auf eine geringe Anzahl Partialerscheinungen eines Komplexes konzentriert, so wird die psychische Wirkung, daß eben diese Erscheinungen möglichst klar hervortreten, und ihre Unterschiede, wenn es überhaupt solche gibt, werden erfaßt. *Das Unterscheiden beruht also eben auf der durch eine geringe Distribution erzielten Klarheit.* Sucht man dagegen eine größere Anzahl Erscheinungen gleichzeitig festzuhalten, wird die Klarheit der einzelnen Erscheinungen nur gering, ihre gegenseitige Bahnung dagegen verstärkt (S. 449), so daß sie sich schneller assoziieren, als es ohne ein aufmerksames Beachten der Fall sein würde. *Das Verknüpfen wird*

[1]) Wirth: Zur Theorie des Bewußtseinsumfanges. Phil. Stud. Bd. 20, S. 487.

also eben durch die bei der großen Distribution geleistete Arbeit möglich. Daß die beiden Erscheinungen, das Unterscheiden und das Verknüpfen, besonders als „Tätigkeiten“ hervortreten, ist leicht verständlich, weil eben hierdurch die aktive Veränderung eines gegebenen Bewußtseinsinhaltes erreicht wird. Wir werden ferner später sehen, daß alle höheren psychischen Tätigkeiten, das Denken im weitesten Sinne sowie die willkürliche Koordination von Muskelbewegungen, ebenfalls nur durch Kombination der beiden erwähnten Tätigkeiten zustande kommen. Da das Unterscheiden und das Verknüpfen aber nur verschiedene Wirkungen der willkürlichen Lenkung der Aufmerksamkeit sind, so reduzieren sich schließlich alle psychischen Tätigkeiten auf diese eine. In theoretischer Beziehung mag dies von Interesse sein; eine weit größere Bedeutung haben indes die besonderen Bedingungen und Wirkungen der Konzentration und der Distribution, denen daher die folgenden Kapitel gewidmet werden sollen.

Obwohl unsere Aufmerksamkeit im Alltagsleben je den Umständen nach fortwährend zwischen Konzentration und Distribution schwankt, kommt zweifellos in jedem Beruf entweder die eine oder die andere Form vorzugsweise vor. Es kann daher nicht wundernehmen, daß man bei Erwachsenen oft einen typischen Unterschied findet, indem einige Individuen eine starke Konzentration, andere dagegen eine Verteilung der Aufmerksamkeit relativ leicht zustande bringen. Man unterscheidet hiernach eine *konzentrative* und eine *distributive* Form der Aufmerksamkeit. Von diesen Formen kommen aber bei Kindern nur Andeutungen vor, so daß es recht zweifelhaft ist, ob es sich hier wirklich um angeborene Dispositionen handelt[1]). Es scheint mir jedenfalls viel wahrscheinlicher, daß diese Typen sich nur durch eine einseitige berufsmäßige Entwicklung bilden; und tatsächlich genügt bei nicht zu alten Individuen gewöhnlich eine recht kurze Übung, um die bisher vernachlässigte Form ebenfalls zu entwickeln. Die jungen Studierenden z. B., die ihre ganze Schulzeit hindurch fast ausschließlich das Auswendiglernen betrieben haben und im Beobachten nur wenig geübt sind, verstehen es meistens gar nicht, die Aufmersamkeit einseitig zu konzentrieren. Ein halbes Jahr im psychophysischen Laboratorium macht aber in dieser Beziehung Wunder. — Von den übrigen Formen der Auf-

---

[1]) Meumann: Experiment Pädagogik, Bd. 1, S. 512.

merksamkeit, der fixierenden und der fluktuierenden, der statischen und der dynamischen usw.[1]), gilt wohl ganz dasselbe, da alle diese Formen nur Varietäten der konzentrativen und der distributiven sind[2]).

Psychische Arbeiten. Es gibt also, wie gesagt, eigentlich nur zwei Formen psychischer Tätigkeit: das Unterscheiden und das Verknüpfen, und alle komplizierteren Arbeiten sind nur Kombinationen derselben. Die Größe einer gegebenen psychischen Arbeit wird daher besonders davon abhängig sein, ob die eine oder die andere Tätigkeit vorherrscht. Die psychische Arbeit wird also im allgemeinen nur gering bei solchen Leistungen, die, wie z. B. das Unterscheiden einfacher Empfindungen, Addition einstelliger Zahlen und ähnliches, eine geringe Distribution erfordern. Das einfache Unterscheiden zweier Empfindungen ist eine äußerst geringe Arbeit, wenn keine äußeren oder inneren Störungen vorkommen, was selbstverständlich vorausgesetzt werden darf, da die Überwindung der Störung eine neue Arbeit ist, die die in Rede stehende gar nichts angeht. Bei geübten Rechnern ist ebenfalls die fortlaufende Addition einstelliger Zahlen keine große Arbeit, da nur wenige Vorstellungen gleichzeitig festgehalten zu werden brauchen und die Aufmerksamkeit nur auf die sukzessiv reproduzierten Summen gelenkt werden soll. Bei ungeübten Rechnern dagegen, wo diese Reproduktionen nicht glatt verlaufen, kann die Arbeit bedeutend größer werden, indem die einzelnen Summen nur mittels komplizierterer Vorgänge zu erhalten sind und daneben die partiellen Resultate festgehalten werden müssen[3]). Im Gegensatz zu den Arbeiten mit geringer Distribution stehen die Leistungen, die hauptsächlich auf dem Behalten einer größeren Anzahl Vorstellungen beruhen oder es jedenfalls erfordern, wie z. B. das Auswendiglernen, Denken usw. Bei maximaler Konzentration der Aufmerksamkeit auf die einzelnen Vorstellungen werden diese Arbeiten um so größer, je mehr Vorstellungen man gleichzeitig festzuhalten sucht. Zwischen diesen beiden Grenzen liegen alle anderen psychischen Leistungen. Die Multiplikation zwei zweistelliger Zahlen im Kopfe z. B. wird im allgemeinen eine größere Arbeit als die Addition einstelliger Zahlen, weil

[1]) Meumann, a. a. O. S. 508 u. f.
[2]) Dürr: Die Lehre von der Aufmerksamkeit. Leipzig 1907. S. 179 u. f.
[3]) Lehmann und Pedersen: Das Wetter und unsere Arbeit. S. 178.

die partiellen Produkte im Gedächtnis behalten werden müssen, damit das Resultat schließlich angegeben werden kann. Das Lesen ist, wie leicht ersichtlich, je den Umständen nach eine sehr variable Leistung. Das Lesen sinnloser Silben ohne Auswendiglernen oder leichter Lektüre in der Muttersprache ist dem geübten Leser eigentlich nur ein Reproduktionsvorgang, der die möglichst geringe Anspannung erheischt, während das Lesen einer schwerfälligen Darstellung in einer fremden Sprache wohl eher einem schwierigen Denkakt gleicht.

Es besteht also zwischen den psychischen Arbeiten, je nachdem sie hauptsächlich eine Konzentration oder eine Distribution erfordern, ein ähnlicher Unterschied wie zwischen körperlichen Leistungen. Während es bei gewissen Muskelarbeiten einfach auf die Größe der zu leistenden Arbeit im physikalischen Sinne ankommt, ist bei anderen dagegen die Größe der Arbeit belanglos, indem es sich vielmehr um Geschicklichkeit, die genaue Koordination der Bewegungen handelt. Wir haben (S. 90) die ersteren als *Kraftleistungen*, die letzteren als *Präzisionsarbeiten* bezeichnet, und analogen Verhältnissen begegnen wir also auf psychischem Gebiete.

Wenn jeder psychophysiologische Vorgang auf einer Transformation chemischer Energie beruht, so ist jedenfalls anzunehmen, daß die Größe dieser Umwandlung in einer einfachen Beziehung zur Größe der psychischen Arbeit stehe, die sich nach der Anspannung der Aufmerksamkeit einigermaßen abschätzen läßt. Daß es sich tatsächlich so verhält, geht zweifellos aus den früher (S. 144) erwähnten Versuchen von Becker und Olsen hervor. Ich berücksichtige im folgenden nur die Messungen, woran ich mich als Versuchsperson beteiligte, da ich hier mit größerer Sicherheit von den subjektiven Verhältnissen reden kann. Das Addieren einstelliger Zahlen, das ich jahrelang täglich geübt habe, fällt mir sehr leicht, während die Multiplikation zwei zweistelliger Zahlen im Kopfe schon eine merkliche Anspannung erfordert. In bester Übereinstimmung hiermit steht, daß der Stoffwechsel beim halbstündigen Addieren pro Sekunde um $0{,}296 \pm 0{,}136$ cm³ CO_2, bei der Multiplikation dagegen um $0{,}647 \pm 0{,}058$ cm³ CO_2 vergrößert wird. Die schwieriger empfundene Arbeit erfordert also eine Produktion von Kohlensäure, die zweimal größer als die der leichteren Arbeit ist. Eine reine Präzisionsarbeit, wie z. B. das Lesen sinnloser Silben, ergibt dagegen keine meßbare Vergrößerung des Stoffwechsels.

Noch interessanter sind die Verhältnisse beim Auswendiglernen. Da die Anspannung der Aufmerksamkeit mit der Distribution wächst, steht mithin beim Erlernen gleichartiger Reihen von sinnlosen Silben zu erwarten, daß die Arbeit A der Silbenzahl N proportional sein wird. In der Zeit t wird also die totale Arbeit $A = c \cdot N \cdot t$ geleistet. Gleichzeitige Zustände hemmen sich aber gegenseitig, und wir haben schon oben (S. 158) die für den hier betrachteten Fall gültige Formel entwickelt. Wird die gegenseitige Hemmung der N Silben berücksichtigt, ist die Größe der Arbeit:

$$A = \frac{c}{p} \cdot \frac{N \cdot t}{1 + (N-1)\frac{1}{p}} \quad \ldots\ldots \text{(Gl. 27)}$$

wo c und p Konstanten sind. Setzen wir $\frac{p}{c} = a$ und $\frac{1}{c} = b$ erhalten wir die pro Sekunde geleistete Arbeit:

$$\frac{A}{t} = \frac{N}{a + (N-1)b} \quad \ldots\ldots\ldots \text{(Gl. 55)}$$

Tabelle 39.

N	W	$\frac{A}{t}$	Mv	$\frac{A}{t}$ ber
8	4,57	0,554	0,201	0,565
12	10,30	0,686	0,090	0,754
16	14,90	0,912	0,270	0,910
20	20,83	1,140	0,307	1,038

In Tab. 39 sind die Ergebnisse der hierüber angestellten Messungen angeführt. N ist die Anzahl der Silben, W die zur Erlernung der betreffenden Reihen nötige Anzahl Wiederholungen, $\frac{A}{t}$ die pro Sekunde produzierte Menge Kohlensäure in cm³ gemessen und Mv die mittlere Variation dieses Wertes. Die Bestimmung der wahrscheinlichen Werte der Konstanten a und b der Gleich. 55 ergibt $a = 11{,}339$ und $b = 0{,}417$. Aus der Gleichung:

$$\frac{A}{t} = \frac{N}{11{,}339 + 0{,}417\,(N-1)} \quad \ldots \text{(Gl. 55a)}$$

können wir dann die Werte $\frac{A}{t}$ berechnen; dieselben sind in der Tabelle 39 unter „$\frac{A}{t}$ *ber*" angeführt und stimmen viel

genauer mit den gefundenen Werten überein als es nach der großen mittleren Variation zu erwarten stand. Aus diesen Versuchen geht also hervor: *Je schwieriger eine psychische Arbeit empfunden wird, je größer sich die erforderliche Anspannung der Aufmerksamkeit zeigt, um so größer ist auch die pro Sekunde transformierte Energie der arbeitenden Neurone.*

Dieses Resultat steht in völliger Übereinstimmung mit den Ergebnissen der Hemmungsversuche. Wir fanden (S. 501), daß ein psychophysiologischer Vorgang einen anderen gleichzeitigen um so stärker hemmt, je komplizierter der erstere ist. Wir sehen jetzt, daß die Umwandlung der chemischen Energie, d. h. die Dissimilation der arbeitenden Neurone, fast proportional zur Komplikation des Vorgangs anwächst (Gleich. 55). Da die Hemmung aber, unserer Theorie zufolge, eben darauf beruht, daß die Neurone, die in eine bestimmte Tätigkeit versetzt sind, nicht gleichzeitig eine andere Arbeit leisten können, so muß die Hemmung einfach mit der Komplikation des Vorgangs, mit der Anzahl der arbeitenden Neurone wachsen. Zwischen dem Ergebnis der Hemmungsversuche und dem der Stoffwechselversuche besteht nur ein kleiner Unterschied. Beim Erlernen von Silbenreihen fanden wir die Hemmung, durch $\frac{1}{Q}$ gemessen, einfach der Silbenzahl N proportional. Die Dissimilation, durch $\frac{A}{t}$ gemessen, wächst aber Gleich. 55 zufolge etwas langsamer als N. Wäre die Hemmung einfach von der Dissimilation abhängig und mithin durch $\frac{A}{t}$ bestimmt, dann stände zu erwarten, daß die Gleich. 55 auch für $\frac{1}{Q}$ gültig sein würde. Es ist indes recht wahrscheinlich, daß dies tatsächlich der Fall ist. Aus der Gleich. 55 a ist nämlich ersichtlich, daß das Glied $0{,}417\,(N-1)$ für kleine Werte des N neben 11,339, ohne einen größeren Fehler herbeizuführen, vernachlässigt werden kann. Bei den Hemmungsversuchen war N höchstens 10, so daß die Abnahme des $\frac{1}{Q}$ mit wachsenden Werten des N hier leicht dadurch verdeckt wird, daß die gefundenen Werte des $\frac{1}{Q}$ stets etwas zu groß ausfallen und um so mehr, je größer die geleistete Arbeit war[1]). Es ist

[1]) Lehmann: Körperliche Äußerungen, Bd. 2. S. 207.

also jedenfalls recht wahrscheinlich, daß *die Hemmung, die ein zentraler Vorgang auf einen anderen gleichzeitigen ausübt, einfach proportional zu der pro Sekunde umgewandelten Energiemenge des hemmenden Vorganges ist.*

Dem Angeführten zufolge kann es keinem Zweifel unterliegen, daß eine psychische Leistung bestimmter Art wie jede körperliche Arbeit einer ganz bestimmten Energiemenge entspricht. Recht sonderbar erscheint es daher, daß die nämliche Arbeit bei wechselnder Disposition an verschiedenen Tagen eine recht schwankende Kohlensäureproduktion herbeiführt, was sich durch die große mittlere Variation der Werte der Tab. 39 bekundet. Die Sache ist wohl einfach so zu erklären, daß jede gegebene Arbeit nur mittels einer ganz bestimmten Energiemenge ausgeführt werden kann, daß aber unter ungünstigen Umständen, wo schädliche Widerstände zu überwinden sind, die totale umgewandelte Energie bedeutend größer werden kann. Daß es sich tatsächich so verhält, geht daraus hervor, daß jede *äußere Störung* sofort die produzierte Kohlensäuremenge erhöht, ohne daß die Arbeit deshalb schneller erledigt wird. Im Gegenteil, wir finden konstant, daß eine Störung die Anzahl der erforderlichen Wiederholungen der Silbenreihen ebenfalls erhöht, was auch nicht anders sein kann, weil jede Störung die bezweckte Arbeit hemmt. Da also sowohl die zur Erledigung der Arbeit erforderliche Zeit als die pro Sekunde umgewandelte Energiemenge durch die Störung vergrößert wird, ist es leicht verständlich, warum die Aufmerksamkeitsanspannung besonders merklich wird, sobald die Aufmerksamkeit von der Arbeit abgelenkt wird. Die Überwindung der Ablenkung ist nämlich eine Arbeit, die wie jede andere eine gewisse Energiemenge erheischt. Wie es aber äußere Störungen gibt, kommen auch *innere Störungen* vor. Irgendeine Schwierigkeit des praktischen Lebens z. B., von welcher man seine Gedanken nur mit Mühe losmachen kann, wirkt als Ablenkung und setzt unvermeidlich die Disposition zur Arbeit herab; dementsprechend finden wir, daß dieselbe Arbeit bei geringerer Disposition eine größere Energiemenge erheischt. Wir kommen somit zu dem folgenden Resultat: *Jede psychische Arbeit erfordert bei demselben Individuum eine konstante Energiemenge. Der Wirkungsgrad der transformierten Energie ist aber variabel, indem er herabgesetzt wird sowohl durch äußere Störungen, die die Aufmerksamkeit ablenken, als durch innere Störungen, die die Disposition zur Arbeit vermindern.*

Wie eine Herabsetzung der Disposition kann unter gewissen Umständen auch eine erhebliche Ermüdung wirken, indem die Arbeit dann nur mittels Hilfsoperationen, die eine größere Anspannung der Aufmerksamkeit erfordern, fortgesetzt werden kann. Wenn man eine halbe Stunde hindurch eine anstrengende psychische Arbeit auf gleichartige Weise ausführt, so wird die Menge der geleisteten Arbeit und mithin auch die Kohlensäureausscheidung stets geringer. Man kann daher bei der Vergleichung verschiedenartiger Arbeiten nicht so verfahren, daß erst eine Arbeit, in der folgenden ebenso langen Periode eine andere Arbeit usw. geleistet werden. Auf diese Weise würde man, wegen der wachsenden Ermüdung, zu ganz falschen Resultaten kommen. Es ist durchaus notwendig, daß man die ganze Zeit hindurch nur eine Art Arbeit leistet und mithin die verschiedenen zu vergleichenden Arbeiten an verschiedenen Tagen ausführt. Der Einfluß der wechselnden Disposition muß dann durch Wiederholung der Versuche ausgeglichen werden; nur auf diese Weise sind brauchbare Resultate, wie Becker und Olsen nachgewiesen haben, zu erhalten. Da bei ihren Versuchen stets wie angeführt gearbeitet wurde, läßt sich die durch die Ermüdung herbeigeführte Verminderung der Leistungen leicht bestimmen. Setzt man ohne Rücksicht auf die absolute Größe die .pro Sekunde in der ersten Periode (von 10 Minuten Dauer; vgl. S. 145) von der Arbeit herrührende Kohlensäuremenge gleich 1, und berechnet man die entsprechenden Verhältniszahlen der beiden folgenden Perioden, so kann man aus einer größeren Anzahl Versuchen die Mitttelwerte berechnen. Aus acht Versuchen von je halbstündiger Dauer, wo ich Silbenreihen verschiedener Länge auswendig lernte, ergaben sich die Mittelwerte der drei Perioden 1 : 0,750 : 0,700 cm³ CO_2 pro Sekunde. Die geleistete Arbeit sinkt natürlich ebenfalls mit wachsender Ermüdung, was sich dadurch bekundet, daß das Erlernen der Reihe immer mehr Wiederholungen erfordert; da die Reihen verschiedener Länge sich aber in dieser Beziehung nicht vergleichen lassen, ist ein quantitativer Ausdruck für die Abnahme der Leistung nicht zu erhalten.

Bei fortlaufender Addition dagegen läßt es sich leicht nachweisen, wie die Anzahl der ausgeführten Additionen fortwährend abnimmt. In vier Versuchen von je halbstündiger Dauer erhielt ich durchschnittlich für die drei Perioden (zu 10 Minuten) 994 : 941 : 885 Additionen. Interessant ist es,

daß die Kohlensäureausscheidung bei diesen Versuchen in demselben Verhältnis nicht abnimmt; als Mittelwerte findet man für die drei Perioden 0,355 : 0,203 : 0,330 cm³/s. Der Zuwachs der Kohlensäureproduktion in der letzten Periode ist zweifellos die Folge der starken Ermüdung und der dadurch bedingten veränderten Arbeitsweise. Da die Addition nämlich ohne Pause ununterbrochen fortgesetzt wurde, war die Ermüdung trotz der relativ leichten Arbeit bedeutend größer als beim Auswendiglernen. Es traten daher in der letzten Periode häufig Stockungen ein, und das sonst motorisch ausgeführte Addieren konnte bei jeder Stockung nur mittels visueller Hilfsoperationen weitergeführt werden. Hierdurch wird die Arbeit aber bedeutend erschwert, und eben deshalb finden wir trotz der geringeren Anzahl Additionen eine größere Kohlensäureproduktion als in der zweiten Periode. Bei noch länger dauernder Arbeit wird die Anzahl der Additionen konstant, die Kohlensäuremenge wächst aber fortwährend. Es zeigt sich also, *daß die geleistete psychische Arbeit ebenso wie die Muskelarbeit mit wachsender Ermüdung abnimmt, daß aber die Kohlensäureproduktion nicht immer in demselben Verhältnis herabgesetzt wird, indem der Wirkungsgrad der transformierten Energie kleiner werden kann.*

Anspannung und Ausdauer der Aufmerksamkeit. Die psychische Leistung in einem gegebenen Moment beruht, wie wir gesehen haben, auf der Größe der Aufmerksamkeitsanspannung. Wir sahen ferner, daß das Gehirn wie die Muskeln ermüdet; bei dauernder psychischer Arbeit nimmt die Leistung mit wachsender Zeit fortwährend ab. Die Leistungsfähigkeit eines Individuums ist also sowohl von der augenblicklichen Anspannung als von der *Ausdauer* der Aufmerksamkeit abhängig; alles übrige gleich wird die Leistung um so größer, je mehr sich die Aufmerksamkeit in jedem Moment anspannen läßt, und je weniger sie ermüdet. In praktischer, pädagogischer Beziehung ist es von großer Bedeutung, die individuellen Differenzen der möglichen Anspannung und der Ausdauer zu bestimmen, und es liegt denn auch eine große Anzahl Methoden zur Messung der Aufmerksamkeit und der Ermüdbarkeit vor[1]). Gegen fast alle Methoden läßt sich aber der Einwand erheben, daß sie keine reine Messung der Aufmerksamkeit ermöglichen, indem andere individuelle Unterschiede neben denen der Auf-

[1]) Meumann: Experiment. Pädagogik. Bd. I, S. 501 u. f., Bd. II, S. 1 u. f.

merksamkeit sich merklich machen. Es handelt sich eben darum, einen möglichst reinen Ausdruck für die augenblickliche Anspannung der Aufmerksamkeit zu erhalten.

Inwiefern sich ein genaues Maß durch die Messung des Stoffwechsels erzielen läßt, wissen wir noch nicht. Es ist zwar nicht unwahrscheinlich, daß auf diesem Wege schließlich die möglichst genaue Bestimmung ausgeführt werden kann, es ist aber noch nicht festgestellt, wie der Stoffwechsel von derselben Leistung bei verschiedenen Individuen beeinflußt wird. Hiervon abgesehen, sind die Stoffwechselbestimmungen so schwierig, daß sie zu Massenuntersuchungen praktisch unbrauchbar sind. Dasselbe gilt von den Hemmungsmessungen, und hierzu kommt noch, daß es oft zweifelhaft sein kann, ob die für verschiedene Individuen unter den nämlichen Umständen gefundenen Werte $\frac{1}{Q}$ überhaupt vergleichbar sind; es kommt stets darauf an, ob sowohl die gehemmte als die hemmende Leistung auf genau dieselbe Weise ausgeführt werden (S. 498).

Es liegt denn auch viel näher, keine indirekte, hemmende, sondern die direkte Wirkung der Aufmerksamkeitsanspannung als Maß ihrer Größe zu verwenden. Da eine beliebige Leistung mit der Größe der Anspannung wächst, wird das einzige natürliche Maß der Aufmerksamkeit die Größe der unter bestimmten Umständen ausgeführten Leistung. Da eine Tätigkeit ferner eine um so größere Aufmerksamkeit beansprucht, je komplizierter sie ist, so mißt man am zweckmäßigsten die Anspannung durch eine Arbeit, die eine größere Verteilung der Aufmerksamkeit erfordert. Damit ferner der Vergleich verschiedener Individuen mit bezug auf ihre Aufmerksamkeit ausgeführt werden kann, muß die gewählte Arbeit möglichst wenig von besonderen individuellen Fähigkeiten abhängig sein. Alle diese Forderungen sind einigermaßen erfüllt, wenn als die zu leistende Arbeit das Behalten und die Reproduktion einfacher Figuren gewählt werden.

Wir sahen schon oben (S. 471, Fig. 66), wie derartige Figuren zweckmäßig konstruiert werden können. Eine solche Figur wird den Versuchspersonen in fünf Sekunden dargeboten und unmittelbar darauf von denselben auf ein Blatt Papier reproduziert, wo die folgende Figur: ·—·—·—·—· gedruckt ist, so daß nur die Querlinien hinzuzufügen sind. Als Maß der Aufmersamkeitsanspannung kann dann einfach die Prozentzahl der richtig wiedergegebenen Querstriche angewandt werden. In wenigen Minuten können 5—10

solche Versuche angestellt werden, und die dabei gemachten Fehler sind leicht aufzuzählen. Allerdings wäre zu erwarten, daß visuelle Versuchspersonen leichter als andere die Figuren behalten und reproduzieren könnten; aus einem größeren Versuchsmaterial hat es sich aber ergeben, daß die entschieden Visuellen höchstens 1—2 % weniger Fehler als die Auditiven und Motorischen machen. Diese Differenz ist aber so klein, daß sie bei praktischen Untersuchungen völlig zu vernachlässigen ist. Die Methode ist zur Untersuchung von 485 Versuchspersonen im Alter zwischen 10 und 60 Jahren und auf sehr verschiedenen Bildungsstufen angewandt, und nur eine einzige Person hat während einer längeren Versuchsreihe keine Fehler gemacht; die Prüfung stellt somit nicht unerhebliche Ansprüche an die Aufmerksamkeit.

Mittels der Zeitverschiebung gleichzeitiger, disparater Sinnesreize läßt sich ebenfalls die Stärke der Aufmerksamkeitskonzentration sehr wohl bestimmen. Wir sahen oben (S. 524), wie die Zeitverschiebung um so größer wird, je stärker die Aufmerksamkeit in einseitiger Richtung gespannt wird. Am einfachsten kann die Konzentration durch die negative Zeitverschiebung bei willkürlicher Lenkung der Aufmerksamkeit auf den Schallreiz bestimmt werden; es gelingt aber nicht immer den ungeübten Versuchspersonen, diese einseitige Konzentration auszuführen. Außerdem ist es in extremen Fällen unmöglich, zu entscheiden, ob die großen Werte der Zeitverschiebung faktisch durch die Konzentration erreicht oder einfach erdichtet worden sind. Wenn die Versuche mit Ungeübten angestellt werden, ist es daher sicherer, nur die richtige Stellung des Zeigers bestimmen zu lassen. Werden die Versuchspersonen instruiert, die Aufmerksamkeit auf den Schallreiz zu lenken und die damit gleichzeitige Stellung des Zeigers zu bestimmen, so fällt die Zeitverschiebung konstant negativ aus und um so kleiner, je stärker die Aufmerksamkeitskonzentration ist.

Die Ergebnisse der beiden erwähnten Methoden müssen durchweg übereinstimmen, da es kein wesentlicher Unterschied machen kann, daß die erste Methode eine relativ große Distribution, die zweite eine stärkere Konzentration erfordert. Es steht mithin zu erwarten, daß die negative Zeitverschiebung um so kleiner ausfällt, je größer die Prozentzahl der richtig wiedergegebenen Linien ist. Aus einer größeren, von R. H. Pedersen angestellten Versuchsreihe geht eben dies Resultat hervor[1]).

---

[1]) Pedersen: Bidrag til Lären om de individuelle själelige Differenser. Kopenhagen 1912.

Es beteiligten sich an diesen Versuchen die schon früher erwähnten 58 männlichen und weiblichen Studierenden. Von jeder Versuchsperson wurden 30 Figuren wiedergegeben und ebenfalls in 30 verschiedenen Versuchen die mit dem Schallreize gleichzeitigen Zeigerstellungen beurteilt. Da sämtliche Versuchspersonen die Bestimmungen gleichzeitig ausführten, sind die Versuche also unter den nämlichen äußeren Umständen zustande gekommen. In Tab. 40 sind die Ergebnisse der beiden Reihen zusammengestellt. Die Reihe A gibt die Prozentzahl der richtig wiedergegebenen Querlinien an; die Reihe *Anz.* enthält die Anzahl Versuchspersonen, die in jede Gruppe fallen, indem z. B. die Gruppe 60 sämtliche zwischen 60 und 64,99 % liegende Fälle umfaßt, usw. N ist die in Tausendstelsekunden angegebene Zeitverschiebung, die als Mittel für die betreffenden Versuchspersonen gefunden wird; diese Größe war ohne Ausnahme negativ. (N) enthält die ausgeglichenen Werte[1]) des N, und diese Größen nehmen, wie ersichtlich, mit wachsenden Werten des A ab, was eben zu erwarten stand.

Tabelle 40.

A	60	65	70	75	80	85	90	95
Anz.	2	3	1	8	10	14	15	6
N	132	171	367	123	135	107	121	117
(N)		184	171	136	123	116	116	

Wir können also davon ausgehen, daß wir z. B. mittels der Reproduktion der Figuren die Anspannung der Aufmerksamkeit während dieser Leistung bestimmen können. Ist die Leistungsfähigkeit des Individuums durch irgendeine Ursache, Ermüdung, Krankheit oder ähnliches, herabgesetzt, muß sich dies dadurch kundtun, daß das Maß der möglichen Aufmerksamkeitsanspannung kleiner ausfällt. Auf diese Weise wird es möglich, die Ausdauer zu messen. Bestimmt man die Anspannung $A_{,}$ vor und $A_{,,}$ nach einer gegebenen Arbeit für verschiedene Versuchspersonen, so wird also das Verhältnis $\frac{A_{,,}}{A_{,}}$ ein Maß der Ausdauer der Aufmerksamkeit sein; je größer die Anspannung $A_{,,}$ nach der Arbeit im Verhältnis zur Anspannung $A_{,}$ vor der Arbeit ist, um so größer ist die Leistungsfähigkeit der betreffenden Person. Sind die von den verschiedenen Versuchspersonen während einer gewissen Zeit geleisteten Arbeiten nicht gleichartig, so ist das Verhältnis

[1]) Über die Methode des Ausgleichens vgl. Lehmann und Pedersen: Das Wetter und unsere Arbeit, S. 120.

$\frac{A_n}{A_v}$ zwar kein Maß der individuellen Arbeitsfähigkeit, sondern gibt nur die Stärke der durch die Arbeiten hervorgerufenen Ermüdung an.

Um die Methode zu prüfen, wurde in zwölf aufeinander folgenden Wochen an demselben Wochentage in einer Kopenhagener Volksschule die Aufmerksamkeitsanspannung bei 365 Knaben bestimmt. Es wurden in der ersten und in der letzten Schulstunde jeden Tages je drei Figuren vorgezeigt und reproduziert; die Prozentzahl der richtig wiedergegebenen Querlinien in der ersten Schulstunde bestimmt die Größe A_v, die entsprechende Zahl der letzten Schulstunde die Größe A_n. Der mittlere Wert $\frac{A_v + A_n}{2}$ ist dann das Maß der individuellen Anspannung, und $\frac{A_n}{A_v}$ gibt die Ermüdung während eines Schultages an. In Tab. 41 sind die Werte für die vier untersuchten Alterstufen (10—13 Jahre) sowie die Anzahl der Kinder auf jeder Stufe angeführt. Die Anspannung wächst, wie ersichtlich, nicht unerheblich mit wachsendem Alter. Die Ermüdung ist dagegen merkwürdig gering, was größtenteils davon herrührt, daß die Hälfte der untersuchten Kinder sogenannte „Nachmittagskinder“ waren, deren Schulzeit erst um 1 Uhr nachmittags anfängt. Sehr viele dieser Kinder arbeiten vormittags körperlich und sind daher in der ersten Schulstunde so müde, daß sie stets innerlich und oft auch äußerlich schlafen. Wenn sie sich dann eine Stunde ausgeruht haben, was ihnen meistens erlaubt wird, kann die Arbeit anfangen: sie zeigen sich aber wegen dieser Umstände in der letzten Schulstunde oft frischer als in der ersten. Für die Nachmittagsklassen wird somit durchweg $\frac{A_n}{A_v} > 1$, und daher werden die Mittelwerte sämtlicher Klassen so hoch. Da diese Resultate durchaus den Erwartungen entsprechen, läßt sich die Zuverlässigkeit der Methode kaum beanstanden.

Tabelle 41.

Alter	10	11	12	13
Anzahl	54	115	103	93
$\frac{1}{2}(A_v + A_n)$	58,3	65,6	70,3	74,8
$A_n : A_v$	0,964	0,980	0,969	0 968

II. Das Unterscheiden.

Fünfundsechzigstes Kapitel.

Der Vorgang des Vergleichens.

Wenn zwei Wahrnehmungen, die entweder gleichzeitig gegeben und dann verschieden lokalisiert werden oder aufeinander folgen, willkürlich so zueinander in Beziehung ge-

setzt werden, daß wir uns irgendeines Unterschiedes, resp. des Fehlens eines Unterschiedes zwischen denselben bewußt werden, nennen wir diesen Vorgang einen Vergleich. Wir brauchen indes keineswegs immer unsere Wahrnehmungen zu vergleichen, um Unterschiede derselben aufzuspüren; in den weitaus häufigsten Fällen sind die Unterschiede unmittelbar gegeben. Geht man die Straße entlang, können sogar viele indirekt gesehene Objekte ohne willkürliche Vergleichung leicht unterschieden werden; während die Aufmerksamkeit ganz anderswo hingelenkt ist, bemerkt man, daß man hier an einem Baume und dort an einem Laternenpfahl vorübergeht. Wenn der Unterschied gegebener Bewußtseinszustände aber so gering ist, daß er sich nicht unmittelbar aufdringt, kann mitunter ein bewußtes Vergleichen notwendig werden. Obwohl nun das Vergleichen tagtäglich von jedermann in Hunderten und wieder Hunderten von Fällen ausgeübt wird, ist der einfache Vorgang dennoch keineswegs völlig aufgeklärt; gehen wir also etwas näher auf die Sache ein.

Im einfacheren Fall, beim *Simultanvergleich*, wo die zu vergleichenden Objekte gleichzeitig gegeben sind, wird die Aufmerksamkeit auf diejenigen Verhältnisse des einen Objektes gelenkt, die eben verglichen werden sollen, und wenn sie völlig klar erfaßt sind, wird die Aufmerksamkeit auf dieselben Verhältnisse des anderen Objektes gerichtet. Es kommt nun ausschließlich darauf an, ob in der bestimmten, beachteten Beziehung eine Veränderung des Bewußtseinszustandes merklich wird. Dies ist besonders dann leicht ersichtlich, wenn es sich ums Vergleichen von Empfindungen handelt, deren Reize so gewählt sind, daß sie nur in einer einzigen Beziehung Unterschiede aufweisen können. Verändert sich dann überhaupt der Zustand, indem die Aufmerksamkeit von der einen auf die andere Empfindung gelenkt wird, so ist damit ein Unterschied der Empfindungen gegeben. Findet dagegen keine Veränderung statt, werden die beiden Empfindungen als gleich beurteilt. Dieser letztere Fall tritt jedoch recht selten ein, meistens wird eine Veränderung empfunden, wobei es aber nicht selten vorkommt, daß bald die eine, bald die andere Empfindung als die in einer bestimmten Beziehung ausgesprochenere beurteilt wird. Da eine Empfindung aber unmöglich sowohl stärker als schwächer denn eine andere sein kann, können wir im Falle eines solchen schwankenden Urteils nur schließen, daß die beiden gleich seien, und daß es bloß von zufälligen,

die Auffassung beeinflussenden Umständen herrühre, wenn die Identität nicht empfunden wird. Ganz analog stellt sich übrigens die Sache, wenn keine einfachen Empfindungen, sondern kompliziertere Wahrnehmungen in irgendeiner Beziehung verglichen werden. Die Aufmerksamkeit muß dann soweit möglich ausschließlich auf das in Betracht gezogene Verhältnis konzentriert werden, und es handelt sich darum, die Veränderung oder das Fehlen einer Veränderung zu konstatieren, wenn die Aufmerksamkeit von einem auf das andere Objekt übergeht. Sind die beiden Objekte einer dauernden Betrachtung zugänglich, kann die Aufmerksamkeit natürlich mehrmals hin und zurück gehen, wodurch die Unterscheidung mitunter — aber keineswegs immer — erleichtert wird. Auf solche das Unterscheiden beeinflussenden Nebenumstände soll übrigens im folgenden näher eingegangen werden.

Der *Sukzessivvergleich* ist eine viel verwickeltere Erscheinung als der Simultanvergleich. Kommt ein leeres Intervall von der Dauer einiger Sekunden zwischen den beiden zu vergleichenden Wahrnehmungen vor, so kann der zuerst eingetretene Zustand nur als Erinnerungsbild existieren, wenn der zweite zustande kommt. Es kann also höchstens davon die Rede sein, daß die Aufmerksamkeit vom Erinnerungsbilde auf die Wahrnehmung gelenkt wird, und daß so ein Vergleich zwischen diesen beiden Zuständen vollzogen wird. Daß ein solcher Vergleich überhaupt einen Sinn haben kann, ist an und für sich recht merkwürdig, da das Erinnerungsbild jedenfalls in betreff der Stärke von der Wahrnehmung sehr verschieden ist, wodurch die Vergleichung immer erschwert werden muß. Handelt es sich nun zumal darum, die Stärke der beiden Erscheinungen zu vergleichen, so scheint ein solches Unternehmen a priori völlig sinnlos; und dennoch zeigt es sich erfahrungsmäßig, daß der Vergleich fast zu demselben Ergebnis führt, als wenn die beiden Erscheinungen gleichzeitige Wahrnehmungen wären. Noch rätselhafter wird die ganze Sache, weil man in vielen Fällen nicht einmal ein bewußtes Erinnerungsbild in dem Augenblicke hat, wo die zu zweit gegebene Erscheinung eintritt [1]); dennoch läßt sich der Vergleich vollziehen, und das Ergebnis wird wiederum dasselbe, als wenn man zwei gleichzeitige Wahrnehmungen verglichen hätte.

[1]) Schumann: Der Sukzessivvergleich. Zeitschr. für Psych. Bd. 30, S. 242 u. f. Whipple: Discrimination of clangs. Amer. Journ. Bd. 12, S. 443 u. f.

Obwohl also zweifellos in vielen Fällen, besonders wenn ein längeres Intervall zwischen den beiden zu vergleichenden Empfindungen vorkommt, von einem bewußten Einnerungsbild der ersten Empfindung keine Spur zu entdecken ist, wenn die zweite Empfindung eintritt, ist nichtsdestoweniger die zuerst gegebene Empfindung nicht ohne jede Bedeutung. Es findet tatsächlich ein Vorgang statt, der eine Vergleichung genannt werden darf, was sich einfach daraus ergibt, daß die Genauigkeit der Beurteilung der zweiten Empfindung um so kleiner wird, je größer das Intervall der Empfindungen ist. Diese Tatsache ist bei der Vergleichung sowohl von Klängen als von Lichtintensitäten festgestellt worden [1]). Bei den Klangversuchen haben die verschiedenen Beobachter fast übereinstimmend gefunden, daß objektiv gleiche Klänge erst nach einem Intervall von 30—60 Sek. etwa nur in der Hälfte der Fälle richtig beurteilt werden, so daß die Resultate mithin denen eines Erratens gleichkommen; bei den Versuchen mit Abstufungen von Grau tritt dasselbe Verhältnis erst nach etwa 120 Sek. ein. Es geht also hieraus hervor, daß *1 bis 2 Min. nach dem Aufhören einer Empfindung noch eine Nachwirkung, ein zentrales „Nachbild" besteht, das zwar von keinem bewußten Erinnerungsbilde begleitet zu sein braucht, dennoch aber der Beurteilung einer folgenden Empfindung eine um so größere Genauigkeit verleiht, je weniger das Nachbild abgeklungen ist.* Wir werden später (Kap. 68) sehen, wie diese zentralen Nachbilder sich auch auf anderen Gebieten geltend machen.

Aus dem Angeführten geht wohl hervor, daß das Vorhandensein eines bewußten Erinnerungsbildes für den Vergleich eigentlich belanglos ist. Nichtsdestoweniger wird es von Interesse sein, zu untersuchen, unter welchen Umständen ein solches Bild sich überhaupt nachweisen läßt. Individuelle Unterschiede spielen natürlich hier eine große Rolle. Der visuell Veranlagte wird relativ leicht ein Gesichtsbild [2]), der auditiv Veranlagte ein Schallbild [3]) usw. festhalten können. Neben diesen individuellen spielt indes auch ein allgemeiner Faktor, die Richtung der Aufmerksamkeit, eine wesentliche Rolle. Man kann nämlich seine Aufmerksamkeit auf die zuerst gegebene Wahrnehmung lenken und sich bemühen, das Er-

[1]) Wolfe: Phil. Stud. Bd. 3, S. 552. Angell, Amer. Journ. Bd. 11, S. 76. Whipple, a. a. O. S. 421. Lehmann, Phil. Stud. Bd. 5, S. 126.
[2]) Schumann, a. a. O. S. 246.
[3]) Whipple, a. a. O. S. 425.

innerungsbild derselben möglichst klar und intensiv festzuhalten. Ist das Intervall der beiden zu vergleichenden Zustände nur nicht gar zu lang, kann man auf diese Weise ein lebhaftes Erinnerungsbild in dem Momente haben, wo die zweite Wahrnehmung eintritt. Lenkt man dagegen, wenn die zuerst gegebene Wahrnehmung erfaßt worden ist, sofort seine Aufmerksamkeit auf die zweite, erwartete Erscheinung, so verschwindet das Erinnerungsbild der ersten bald, und von einem bewußten Vergleich kann dann überhaupt keine Rede sein.

Die erwähnte verschiedene Einstellung der Aufmerksamkeit hat sowohl subjektive als objektive Folgen. Ist die Aufmerksamkeit auf die zuerst gegebene Wahrnehmung gelenkt, so tritt die Veränderung des Zustandes, worauf das Unterscheiden beruht, entschiedener hervor als im anderen Falle, wo die Aufmerksamkeit von der ersten auf die zweite Empfindung gelenkt wird. Hierdurch erhält aber der ganze Vorgang einen bestimmten Gefühlston: die entschiedene Veränderung oder das sichere Fehlen einer Veränderung kann recht lustbetont sein, während die Unentschiedenheit immer unlustbetont ist. Beim Festhalten der zuerst gegebenen Empfindung hat man mit anderen Worten bei gleicher objektiver Differenz ein Gefühl größerer Sicherheit der Schätzung, als wenn die Aufmerksamkeit sofort nach der ersten auf die zweite Wahrnehmung gelenkt wird. Diesem subjektiven Gefühl entspricht nun meistens eine größere objektive Sicherheit; die Schätzung wird tatsächlich genauer, die Streuung der Werte geringer. Die Gegenwart eines bewußten Erinnerungsbildes der zuerst gegebenen Empfindung führt somit zweifellos eine größere subjektive Sicherheit und objektive Genauigkeit herbei; übrigens läßt sich kein wesentlicher Unterschied der Ergebnisse in den beiden erwähnten Fällen nachweisen.

Die Frage, wann ein bewußtes Erinnerungsbild beim Vergleich vorkommt, und was hieraus resultieren wird, läßt sich also einigermaßen sicher beantworten; damit sind wir aber der Lösung des Vergleichsproblems keinen Schritt näher gekommen. Die eigentliche Schwierigkeit ist nämlich, wie eine gegenwärtige Wahrnehmung mit einer schon aufgehörten verglichen werden kann; ob diese letztere noch als Erinnerungsbild fortdauert oder dem Bewußtsein völlig entschwunden ist, wird von geringerem Belang. Die Schwierigkeit leuchtet am besten ein, wenn man des häufig vorkommenden Falles gedenkt, daß zwei sukzessive Empfindungen derselben Art in betreff ihrer

Stärke verglichen werden sollen. Selbst wenn man ein klares Erinnerungsbild der ersten Empfindung hat, wenn die zweite eintritt, ist ein Vergleich der Stärke dieser Zustände eigentlich sinnlos, indem das Erinnerungsbild hauptsächlich durch den Intensitätsunterschied von der Wahrnehmung differiert. Und dennoch müssen, wie wir oben (Kap. 56) sahen, die die sukzessiven Empfindungen erregenden Reize gleich stark sein, wenn die Empfindungen dieselbe Intensität haben sollen; der gewöhnlich vorkommende, kleine Unterschied der Reize ist viel zu gering, um dem Stärkeunterschied zwischen der Wahrnehmung und dem Erinnerungsbilde zu entsprechen. Es kann einfach als ausgeschlossen angesehen werden, daß man bei einer solchen Vergleichung wirklich die Intensitäten vergleicht, und wenn zumal kein Erinnerungsbild im Bewußtsein gegenwärtig ist und dennoch unmittelbar der unbewußte Zustand z. B. intensiver als die eben vorhandene Wahrnehmung gefunden wird, so muß der Vergleich auf eine ganz andere Weise zustande kommen.

Es wurde schon früher mehrmals darauf hingewiesen, daß die sogenannte einfache Empfindung keineswegs als eine unzusammengesetzte Erscheinung angesehen werden darf. Die begleitenden Vorstellungen, der „Inhalt“ der Empfindung, spielen, wie die meisten Beobachter auf diesem Gebiete bemerkt haben, beim Vergleich oft eine größere Rolle als die primäre Empfindung selbst. Besonders wenn die zu vergleichenden Empfindungen von einem größeren Intervalle getrennt sind, wird die Gleichheit oder Verschiedenheit derselben oft allein nach den begleitenden Vorstellungen beurteilt. Diese Vorstellungen können sehr verschiedener Art sein. Beim Vergleich von Tonhöhen hat man Photismen (Farbenvorstellungen), geometrische Figuren und Muskelempfindungen in den Sprechorganen beobachtet[1]). Bei Gewichtsversuchen spielen nach G. E. Müller Gesichtsbilder sowohl von der Hubhöhe als vom Volumen der gehobenen Gewichte oft eine wesentliche Rolle[2]). Etwas Analoges habe ich selbst bemerkt. Wenn ich ausschließlich die bei den Gewichtshebungen auftretenden Spannungsempfindungen berücksichtige, werden sie fast immer durchaus unwillkürlich als gerade Linien verschiedener Länge veranschaulicht, etwa so wie man in der Mechanik die Kräfte darstellt, und die Größe der Gewichte wird viel mehr nach

[1]) Whipple, a. a. O. S. 425 u. f.

[2]) Zeitschr. für Psychol. Bd. 36. S. 258.

diesen Bildern als nach den primären Spannungsempfindungen beurteilt. Bei Versuchen, wo es sich um die im Alltagsleben nur selten vorkommende Vergleichung von Schallstärken handelt, können ebenfalls die verschiedenen Intensitätsstufen durch bestimmte Assoziationen charakterisiert werden; so bezeichnete eine Versuchsperson eine gewisse Schallstärke als „Dachtraufe". Bei anderen Versuchspersonen treten Gesichtsbilder der von der Unterlage zurückprallenden Kugeln auf; je größer die Schallstärke, um so höher sieht man die Kugeln steigen, obwohl dies in Wirklichkeit gar nicht stattfindet. Alle solche begleitenden Vorstellungen treten gewöhnlich am Anfang einer Versuchsreihe viel mehr bewußt hervor als später; sie können aber sehr wohl den Zustand beeinflussen, selbst wenn sie nicht bemerkt werden. Ihre wesentlichste Bedeutung für den Vergleich ist wohl zunächst darin zu suchen, daß sie ihren Charakter gar nicht verändern, wenn die betreffenden Empfindungen als solche aufhören und in die entsprechenden Erinnerungsbilder übergehen. Nehmen wir also an, daß der Inhalt sowohl von der Stärke als der Art einer Empfindung abhängig sei und jedenfalls so lange fortdauere, bis die Empfindung nach dem Aufhören der Reizung abgeklungen ist. so ist hierdurch die Möglichkeit eines Vergleichs sukzessiver Empfindungen gegeben. Selbst wenn die komplizierten Inhalte nicht bewußt sind, verleihen sie, wie früher nachgewiesen (S. 462), dem gesamten Zustand ein eigentümliches Gepräge; geht dann mit der zuzweit eintretenden Empfindung eine genügend große Veränderung des ganzen komplexen Zustandes einher, so wird dies beim Aufmerken unmittelbar als ein Unterschied der Empfindungen aufgefaßt, und dieselben sind also auf diese Weise tatsächlich verglichen.

Da in dem erwähnten Falle keine bewußte Vergleichung stattfindet, ist die Behauptung aufgestellt worden, daß die Empfindungen überhaupt nicht verglichen, sondern „absolut" beurteilt werden[1]). Wir brauchen aber kaum auf diese „Hypothese des absoluten Eindrucks" näher einzugehen, da sie als völlig widerlegt angesehen werden darf. Man findet nämlich erstens, daß die Erscheinungen, die der Hypothese zufolge durch die absolute Beurteilung zustande kommen sollen, sich auch dann zeigen, wenn der Einfluß des absoluten Eindrucks konsequent ausgeschlossen wird. Zweitens widerstreitet die Hypothese auf einem wesentlichen Punkt direkt den Tatsachen.

---

[1]) Martin und Müller: Zur Analyse der Unterschiedsempfindlichkeit. Leipzig 1899. Müller: Gesichtspunkte u. Tatsachen der psychophysischen Methodik. Wiesbaden 1904.

Drittens wird die Hypothese, die ursprünglich zur Erklärung der auf dem Gebiete der Gewichtsempfindungen gefundenen Tatsachen aufgestellt wurde, einfach absurd, wenn sie auf andere Gebiete, z. B. das der Schallempfindungen, wo tatsächlich genau dieselben Erscheinungen zu beobachten sind, übertragen wird [1]). Viertens läßt es sich direkt nachweisen, daß die sogenannte absolute Beurteilung durchaus keine absolute ist, indem sie stets von den vorhergehenden Empfindungen abhängig gefunden wird; es findet somit immer ein Vergleich statt [2]). Müller und seine Anhänger haben auf diese Einwände überhaupt nichts erwidern können; die Hoffnunglosigkeit einer Verteidigung ist auch ganz evident.

Sechsundsechzigstes Kapitel.

Die Unterschiedsempfindlichkeit.

Da die Empfindungen die Elemente der Wahrnehmungen und Vorstellungen sind, kann jeder Unterschied dieser komplizierteren Zustände auf Empfindungsunterschiede zurückgeführt werden. Zwei Empfindungen können sich aber in bezug auf irgendeine der fünf Dimensionen unterscheiden; es kommen Unterschiede in betreff der Art, der Intensität, der zeitlichen und räumlichen Ausdehnung und der Klarheit vor. Je kleiner die Unterschiede sind, die in irgendeiner Beziehung eben bemerkt werden können, um so feiner ist die *Unterschiedsempfindlichkeit* (U-E.).

Diese Definition ist indes zweideutig; wenigstens werden gewöhnlich bei der Bestimmung der U-E. zwei wesentlich verschiedene Fälle vermengt. Entweder kann der Unterschied nämlich eben merklich sein, ohne daß man imstande ist, die Richtung des Unterschiedes anzugeben, oder aber man weiß zugleich, welche der beiden Empfindungen die in einer bestimmten Beziehung ausgesprochenere ist. Es gibt mithin zwei verschiedene Werte der U-E.: die unbestimmte, die einem *eben merklichen* Unterschiede entspricht, und die bestimmte, die durch einen *eben angebbaren* Unterschied charakterisiert ist. Die letztere ist selbstverständlich bedeutend gröber als die erstere U-E., d. h. wenn man die Richtung, in welcher die beiden Empfindungen voneinander abweichen, angeben können soll, muß der Empfindungsunterschied größer sein, als wenn er nur eben merklich sein soll.

---

[1]) Lehmann: Elemente der Psychodynamik. S. 117.

[2]) Lehmann, Archiv für Psychol. Bd. 6, S. 460 u. f.

Von der U-E. in betreff der qualitativen Unterschiede der Empfindungen war schon oben an verschiedenen Stellen die Rede. Indem wir z. B. als Maß der U-E. für Farbentöne die eben merkliche Differenz der Wellenlänge nahmen, sahen wir, wie die U-E. durchweg mit der Wellenlänge des farbigen Lichtes variiert (S. 204). Für Tonhöhen dagegen fanden wir in den mittleren Oktaven die U-E. fast konstant (S. 288). An den beiden erwähnten Stellen wurde übrigens schon bemerkt, daß man ganz verschiedene Werte der U-E. erhält, je nachdem es sich darum handelt, einfach einen Unterschied zu empfinden oder zugleich die Richtung des Unterschiedes angeben zu können. Die Reizdifferenz, die dem letzteren Unterschiede entspricht, ist auf allen Sinnesgebieten größer als die des ersteren.

Über die U-E. für Klarheitsgrade der Empfindungen läßt sich vorläufig nicht viel Bestimmtes angeben. Die Empfindungen, von welchen die Aufmerksamkeit völlig abgelenkt ist, haben einen so geringen Klarheitsgrad, daß man mit Sicherheit nicht bestimmen kann, ob sie überhaupt auf verschiedenen Stufen stehen (S. 531). Es kann mithin von einer Messung der U-E nur bei denjenigen Empfindungen die Rede sein, auf welche die Aufmerksamkeit gerichtet ist. Daß auch hier Unterschiede der Klarheitsgrade vorkommen, ist zweifellos; wir sahen aber schon früher (Kap. 60), wie die Stärke der Empfindungen gleichzeitig mit der Klarheit abnimmt, so daß es fraglich sein wird, ob man Klarheits- oder Stärkeunterschiede vergleicht. Bisher liegt nur eine einzige Versuchsreihe vor, die etwas Licht über das in Rede stehende Problem wirft[1]; die Versuchsanordnung war aber eine so komplizierte, daß es sich kaum entscheiden läßt, was die Versuchsperson eigentlich gemessen hat.

Die U-E. für zeitliche und räumliche Extensitäten kann erst später (Kap. 74 und 78) erörtert werden, wenn von der Auffassung der Zeit und des Raumes die Rede sein wird.

Es erübrigt somit nur die U-E. für Empfindungsintensitäten, auf die wir hier etwas näher eingehen. Von allen dem Experiment zugänglichen Gebieten der Psychologie ist dies wohl das am meisten durchforschte, so daß nicht nur die Hauptgesetze, sondern auch die Wirkungen der wesentlichsten störenden Faktoren bekannt sind. Da die Verhältnisse sich

---

[1]) Wirth: Die Klarheitsgrade der Regionen des Sehfeldes. Psychol. Stud. Bd. 2, 1906. S. 30.

ganz verschieden gestalten, je nachdem die zu unterscheidenden Empfindungen simultan oder sukzessiv gegeben sind, behandeln wir als Beispiele dieser beiden Hauptgruppen die Licht- und Schallempfindungen; die übrigen Empfindungen verhalten sich denselben in allem Wesentlichen analog.

Wir sahen schon oben (S. 207), daß die Empfindungsstärke jedenfalls unter bestimmten Umständen mit der Nervenerregung wächst. Die Stärke der Nervenerregung ist aber bei kurzdauernder Reizung genau und bei länger dauernder Reizung annähernd durch die Gleichung: $E = c \cdot \log \cdot \left(1 + \frac{R}{\varkappa}\right)$ bestimmt. Wenn der Reiz r in der nämlichen Zeit wie R einwirkt, wird die hiervon hervorgerufene Erregung: $e = c \log \cdot \left(1 + \frac{r}{\varkappa}\right)$. Die Differenz der beiden Erregungen ist dann:

$$E - e = c \log \frac{\varkappa + R}{\varkappa + r} \quad \ldots\ldots\ldots \text{(Gl. 56)}$$

Gehen wir nun davon aus, daß einer eben merklichen Empfindungsdifferenz eine konstante Differenz der Nervenerregung entspricht, so muß also $E - e =$ konst. sein, wenn die beiden Empfindungen eben unterschieden werden können. Diese Annahme ist an und für sich recht wahrscheinlich, indem die eben merkliche Empfindungsdifferenz der kleinste Unterschied ist, der überhaupt empfunden werden kann, und keine Tatsache nötigt uns vorläufig, anzunehmen, daß das Minimum des Empfindungsunterschiedes mit einer konstanten Erregungsdifferenz nicht einhergehe. Selbstverständlich liegt aber auch kein Beweis vor, daß es sich wirklich so verhält; die Konsequenzen der Annahme werden aber bald über ihre Richtigkeit entscheiden können. Ist nämlich $E - e =$ konst., so muß der Gleich. 56 zufolge auch:

$$\frac{\varkappa + R}{\varkappa + r} = \text{konst.} \quad \ldots\ldots\ldots \text{(Gl. 57)}$$

Die Größe $\varkappa$ kennen wir nicht und können sie meistens nur unter der Voraussetzung, daß Gleich. 57 gültig sei, beberechnen. Es ist aber leicht ersichtlich, daß $\varkappa$, wenn R und r genügend groß geworden sind, vernachlässigt werden kann, indem $\frac{R}{r}$ sich dem Werte $\frac{\varkappa + R}{\varkappa + r}$ so stark nähert, daß die Differenz innerhalb der Grenzen der Messungsfehler fällt. In diesem besonderen Falle wird dann auch $\frac{R}{r} =$ konst., und

das Verhältnis zwischen dem Empfindungs- und dem Reizzuwachs läßt sich folgendermaßen ausdrücken: *Wenn die Empfindungen eine arithmetische Progression bilden, wachsen die entsprechenden Reize in geometrischer Progression.* (Webers Gesetz, 1851). Bei abnehmenden absoluten Werten des r muß aber dann $\frac{R}{r}$, unter der Voraussetzung der Gültigkeit der Gleich. 57, stets wachsen und um so mehr, je kleiner r wird.

Aus $\frac{\varkappa + R}{\varkappa + r} = k$, wo k eine Konstante, folgt nämlich:

$R = \varkappa\,(k - 1) + k \cdot r$, mithin $\frac{R}{r} = k + (k - 1) \cdot \frac{\varkappa}{r}$, d. h. $\frac{R}{r} = k$, wenn $\varkappa$ sehr klein im Verhältnis zu r ist, und mit abnehmenden Werten des r wächst $\frac{R}{r}$, da $k - 1 > 0$, der Gleich. 57 zufolge.

Als Maß der U-E nimmt man gewöhnlich entweder einfach das Verhältnis der Reize, $\frac{R}{r}$, oder den relativen Zuwachs des kleineren Reizes $\frac{R - r}{r} = \frac{R}{r} - 1$, wodurch eine eben merkliche Empfindungsdifferenz entsteht. Wenn also unsere obige Voraussetzung richtig ist und keine störenden Momente mitwirken, wird die auf diese Weise gemessene U-E im allgemeinen eine konstante Größe haben; nur in der Nähe der Reizschwelle wächst sie ein wenig. Was hier von dem eben merklichen Unterschied gesagt worden ist, wird auch durchweg von dem eben angebbaren Unterschied gelten. Tatsächlich hat man nie scharf zwischen diesen beiden Größen unterschieden, indem es in den meisten Fällen einfach von der äußeren Versuchsanordnung abhängig ist, ob man die eine oder die andere Größe bestimmt. Und da die verschiedenen Anordnungen in allem wesentlichen zu denselben Ergebnissen führen, kann der eben angebbare Empfindungsunterschied mit demselben Recht wie der eben merkliche als eine konstante Größe angesehen werden. Selbstverständlich ist die dem ersteren Unterschiede entsprechende Konstante immer etwas größer als die dem letzteren entsprechende, da der angebbare Empfindungsunterschied größer als der eben merkliche ist. Ferner ist die Konstante individuell verschieden, von dem untersuchten Sinnesgebiete, von der Übung, der Richtung der Aufmerksamkeit und der äußeren Anordnung der Reize abhängig.

So einfach, wie hier dargestellt, kann die Sache indes nur unter ganz besonderen Bedingungen sein. Fast immer beeinflussen sich nämlich die beiden Erregungen auf verschiedene Weise, je nachdem sie simultan oder sukzessiv gegeben sind. Und da die Größe dieser gegenseitigen Einwirkung von der Reizstärke abhängig ist, so resultiert hieraus, daß $\frac{R}{r}$ keinen konstanten Wert haben kann. Dies bedeutet indes gar nicht, daß die dem eben merklichen Empfindungsunterschiede entsprechende Erregungsdifferenz, $E - e$, nicht konstant, sondern nur, daß $\frac{R}{r}$ kein genaues Maß der U-E ist. Die Verhältnisse sind den eben erwähnten ganz analog. Wenn $E - e =$ konst., muß im allgemeinen auch die Gleich. 57 gültig sein, und dann wird ebenfalls, für genügend große Werte des r, $\frac{R}{r} =$ konst. Wenn aber in der Nähe der Reizschwelle $\frac{R}{r}$ wächst, rührt es gar nicht davon her, daß $E - e$ größer wird, sondern von dem Umstande, daß $\frac{R}{r}$ kein genaues Maß der U-E ist; was konstant bleibt, ist eben die Größe $\frac{\varkappa + R}{\varkappa + r} = k$, und k ist somit das eigentliche Maß der U-E. Beeinflussen sich nun die beiden Erregungen auf irgendeine Weise, so verhalten sie sich mithin, als ob sie von den Reizen $\varphi(R)$ und $\varphi(r)$ hervorgerufen wären, und das Maß der U-E wird dann:

$$\frac{\varkappa + \varphi(R)}{\varkappa + \varphi(r)},$$

das sich in allen Fällen, wo die Bestimmung der Funktion φ möglich gewesen ist, als eine Konstante erwiesen hat. Es geht also hieraus hervor, daß *das Verhältnis* $\frac{R}{r}$ *als Maß der* U-E. *keine Bedeutung hat, indem der eben merkliche oder eben angebbare Empfindungsunterschied,* $E - e$, *sehr wohl konstant sein kann, ohne daß* $\frac{R}{r}$ *deswegen konstant zu sein braucht. Als Maß der* U-E. *ist nur diejenige Funktion der Reize* R *und* r *anzusehen, die konstant bleibt, wenn* R *und* r *eine konstante Empfindungsdifferenz erregen.*

Als Beispiele zur Erläuterung dieses Satzes gehen wir hier auf die U-E für Schall- und Lichtintensitäten etwas näher ein und fangen mit den Schallempfindungen als dem relativ einfacheren Falle an.

Die U-E. *für Schallempfindungen* muß, wie leicht ersichtlich, von der Bahnung der sukzessiven Empfindungen abhängig sein, weil die Stärke der Empfindungen mit der Größe der Bahnung variiert. Die Bahnung ist aber teils von dem Intervalle der zu vergleichenden Empfindungen (S. 438), teils von der Richtung der Aufmerksamkeit (S. 490) abhängig. Wenn diese beiden Verhältnisse konstant gehalten werden, wird die U-E. nur von der Zeitlage der zu vergleichenden Empfindungen abhängig. Es liegen indes hier vier verschiedene Möglichkeiten vor. Wenn ein konstanter Normalreiz r gegeben ist, so kann man entweder den Reiz, der eine eben merklich stärkere, oder aber den Reiz, der eine eben merklich schwächere Empfindung erregt, bestimmen, und in beiden Fällen kann der variable Reiz entweder vor oder nach dem Normalreiz eintreten. Bezeichnen wir den zuerst eintretenden variablen Reiz als R_I, wenn er eine stärkere, als r_I, wenn er eine schwächere Empfindung erregt als der Normalreiz, und auf analoge Weise den zuzweit eintretenden variablen Reiz als R_{II}, wenn er eine stärkere, und als r_{II}, wenn er eine schwächere Empfindung erregt als der Normalreiz. Der Normalreiz r wird folglich von den Reizen R_I und r_I angebahnt, weil diese letzteren dem ersteren vorausgehen, während andererseits die Reize R_{II} und r_{II} vom r angebahnt werden, weil sie dem letzteren nachkommen. Wird nun z. B. R_I bestimmt, so verhält sich die vom r hervorgerufene Erregung, als ob der Reiz die Größe $r + u \cdot R^v$ hätte (Gleich. 29). Es sind also die beiden Erregungen:

$$E = c \log \cdot \frac{\varkappa + R_I}{\varkappa} \quad \text{und} \quad e = c \log \cdot \frac{\varkappa + r + u \cdot R_I^v}{\varkappa}$$

und ihre Differenz:

$$E - e = c \log \frac{\varkappa + R_I}{\varkappa + r + u \cdot R_I^v}.$$

Nehmen wir nun wie früher an, daß einer eben merklichen Empfindungsdifferenz eine konstante Größe des $E - e$ entspreche, so ist mithin auch:

$$\frac{\varkappa + R_I}{\varkappa + r + u \cdot R_I^v} = K_I \quad \ldots\ldots \quad \text{(Gl. 58 a)}$$

wo K_I eine Konstante ist. Für R_{II}, r_I und r_{II} erhält man ganz analoge Gleichungen. R_{II} gibt eine eben merklich stärkere Empfindung als r, ist aber selbst von letzterem angebahnt; folglich findet man auf dieselbe Weise wie für R:

$$\frac{\varkappa + R_{II} + u \cdot r^v}{\varkappa + r} = K_{II} \ldots\ldots\ldots \text{(Gl. 58 b)}$$

Da r_I dem r vorausgeht, wird es letzteres anbahnen, und da es eine eben merklich schwächere Empfindung gibt als r, hat man also:

$$\frac{\varkappa + r + u \cdot r_I^v}{\varkappa + r_I} = K_{III} \ldots\ldots \text{(Gl. 58 c)}$$

Endlich wird das auf r folgende r_{II} vom ersteren angebahnt, und da es eine eben merkliche schwächere Empfindung gibt, erhält man:

$$\frac{\varkappa + r}{\varkappa + r_{II} + u\, r^v} = K_{IV} \ldots\ldots\ldots \text{(Gl. 58 d)}$$

Wenn unsere Voraussetzung: $E - e =$ konst., richtig ist, muß $K_I = K_{II} = K_{III} = K_{IV}$ sein. Geht man hiervon aus, kann man ferner mittels der Gleich. 58 b und d diejenige Reizgröße r_2 berechnen, die dem Normalreize gleich empfunden wird. Der Gleich. 54 zufolge ist nämlich $u \cdot r^v = r - r_2$. Wird dieser Wert in die Gleich. 58 b u. 58 d eingesetzt, erhält man:

$$\frac{\varkappa + R_{II} + r - r_2}{\varkappa + r} = 1 + \frac{R_{II} - r_2}{\varkappa + r} = K_{II} \ldots \text{(Gl. 58 e)}$$

und
$$\frac{\varkappa + r}{\varkappa + r + r_{II} - r_2} = K_{IV},$$

woraus, indem $K_{II} = K_{IV}$, sich ergibt:

$$r_2 = r + \tfrac{1}{2}\left[R_{II} + r_{II} - \sqrt{(R_{II} - r_{II})^2 + 4\, r^2}\right] \ldots\ldots\ldots \text{(Gl. 59)}$$

Die Größe $\varkappa$ findet sich nicht in Gleich. 59, da sie in die geordnete Gleichung mit dem Faktor $R_{II} + r_{II} - 2r_2$ eingeht, und dieser Faktor wird unter allen Umständen fast gleich Null sein, so daß das Glied vernachlässigt werden darf. Die hier angegebene Bestimmung des r_2 wird immer viel genauer als der aus den Gleichheitsurteilen berechnete Wert [1]).

Die Gültigkeit der angegebenen Formeln ist durch Messungen sowohl für Schall- als Gewichtsempfindungen dargetan worden [2]).

Ich führe hier nur beispielsweise eine größere Reihe Messungen der U-E für Schallempfindungen an. In Tab. 42 sind unter r die angewandten Normalreize, unter R_I und R_{II} die nach der Grenzmethode bestimmten Reizgrößen, die eben merklich stärkere Empfindungen erregen, angeführt. Die hieraus berechneten Werte $\frac{R_I}{r}$ und $\frac{R_{II}}{r}$

---

[1]) Vgl. Lehmann und Pedersen: Das Wetter und unsere Arbeit. S. 189.

[2]) Lehmann: Psychodynamik, S. 87 u. f. Archiv für Psychol. Bd. 6 S.

sind, wie ersichtlich, durchaus nicht konstant; trotz einigen Schwankungen variieren die beiden Gruppen von Werten ganz gesetzmäßig. Man überzeugt sich aber leicht davon, daß die nach den Gleich. 58 a und 58 b berechneten Größen K_I und K_{II} konstant sind. Werden nämlich die für dieselbe Versuchsperson gültigen Werte $u = 0,0879$ und $v = 1,11$ (S 439) sowie der wahrscheinliche Wert $\varkappa = 2,1$ in die Gleich. 58 a und b eingesetzt, können K_I und K_{II} berechnet werden. Aus der Tabelle 42 ersieht man, daß diese Größen ganz unregelmäßig schwanken; im Mittel erhält man $K_{II} = 1,144$ und $K_I = 1,140$; es kann somit auch keinem Zweifel unterliegen, daß $K_I = K_{II}$ [1]). Werden die gefundenen Mittelwerte des K_I und K_{II} nebst den übrigen Konstanten in die Gleich. 58 a und 58 b eingesetzt, können schließlich die Werte $\frac{R_I}{r}$ und $\frac{R_{II}}{r}$ berechnet werden [2]); diese berechneten Werte sind ebenfalls in der Tabelle 42 angeführt.

Tabelle 42.

r	R_I	$\frac{R_I}{r}$	K_I	$\frac{R_I}{r}$ *ber.*	R_{II}	$\frac{R_{II}}{r}$	K_{II}	$\frac{R_{II}}{r}$ *ber.*
1	1,57	1,570	1,132	1,610	1,30	1,300	1,125	1,358
2	3,00	1,500	1,159	1,440	2,58	1,290	1,188	1,200
4	5,84	1,460	1,181	1,377	4,64	1,160	1,172	1,118
8	11,01	1,376	1,154	1,354	8,32	1,040	1,120	1,071
16	21,16	1,322	1,124	1,347	16,30	1,019	1,122	1,044
32	42,13	1,317	1,114	1,355	32,02	1,001	1,122	1,025
64	89,24	1,394	1,157	1,368	64,86	1,013	1,147	1.010
128	177,2	1,385	1,138	1,387	127,4	0,995	1,142	0,994
256	356,3	1,392	1,127	1,410	253,9	0.992	1,153	0,984
512	714,8	1,396	1,115	1,438	505,3	0,987	1,161	0,970
1 024	1 498	1,463	1,136	1,469	955,8	0,933	1,121	0,957
2 048	3 079	1,503	1,140	1,506	1 881	0,918	1,121	0,941
4 096	6 323	1,544	1,140	1,547	3 860	0,942	1,162	0,924
8 192	13 108	1,600	1,144	1,592	7 639	0,933	1,170	0,907
16 384					14 437	0,881	1,137	0,888

Der leichteren Übersicht wegen sind die Ergebnisse in der Fig. 67 graphisch dargestellt. Als Abzisse sind die Werte des Normalreizes r logarithmisch, als Ordinate die Werte $\frac{R_I}{r}$ und $\frac{R_{II}}{r}$ abgesetzt; die durch kleine Zirkel bezeichneten Punkte sind die gefundenen Werte, während die vollgezeichneten Kurven durch die in der Tab. 43 angeführten Werte „$\frac{R_I}{r}$ *ber.*“ und „$\frac{R_{II}}{r}$ *ber.*“ bestimmt sind. Die Über-

[1]) In betreff der Berechnungen vgl. Psychodynamik S. 88 u. f.
[2]) Das Verfahren ist in meiner Psychol. Methodik S. 47 angegeben.

einstimmung zwischen Messung und Berechnung zeigt, daß die gesetzmäßigen Variationen der Größen $\frac{R_I}{r}$ und $\frac{R_{II}}{r}$ zweifellos durch die betreffenden Gleichungen ausgedrückt sind, und daß mithin *die dem eben merklichen Empfindungsunterschiede entsprechende Erregungsdifferenz eine Konstante ist.*

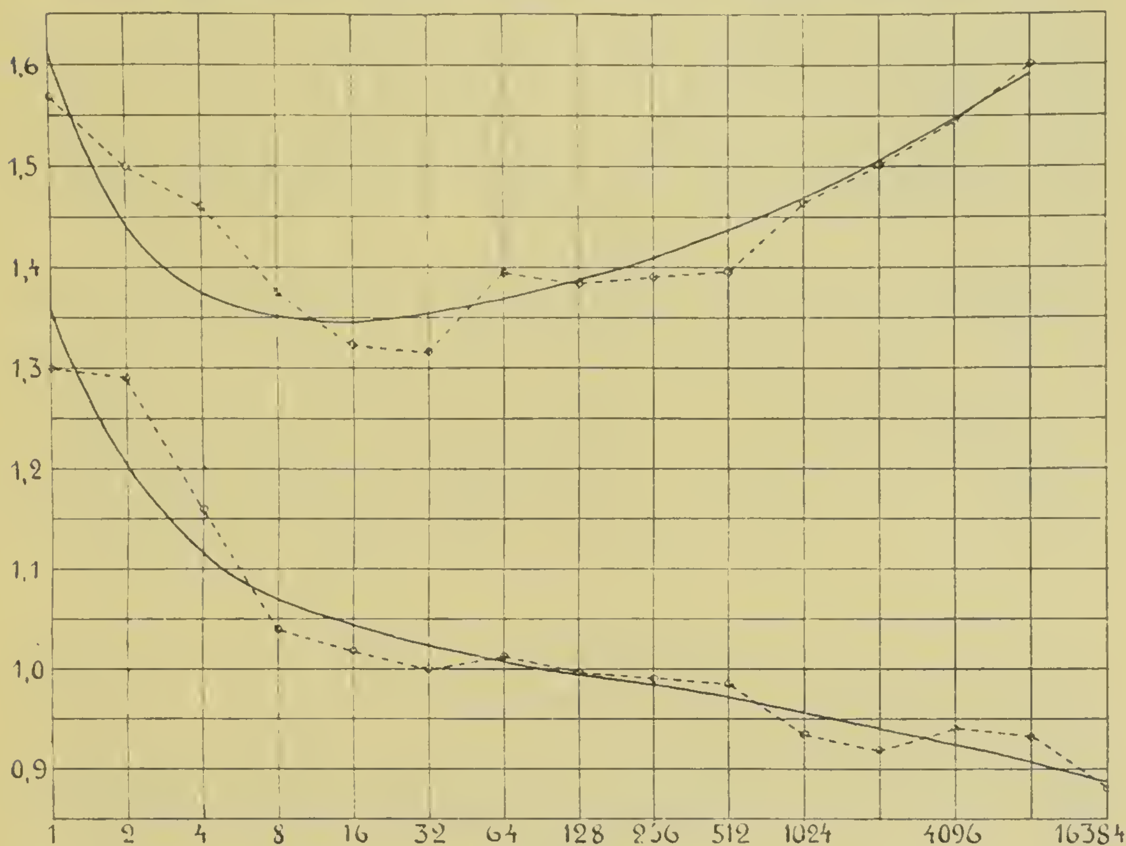


Fig. 67.

Bei sukzessive gegebenen Empfindungen spielt die Richtung der Aufmerksamkeit für die U-E. eine nicht unerhebliche Rolle, was sich leicht mittels der oben (S. 490) angeführten Messungen dartun läßt. Bei diesen Versuchen wurden nämlich sowohl R_{II} als r_{II} bestimmt und hieraus nach der Gleich. 59 die in den Tab. 35 und 43 angeführten Werte des r_2 berechnet. Als Maß der U-E. haben wir dann einfach, indem $\varkappa$ vernachlässigt werden darf (vgl. Gleich. 58 e):

$$1 + \frac{R_{II} - r_2}{r} = K \quad \text{. . . . . (Gl. 60)}$$

Die nach Gleich. 60 berechneten Werte des U-E. sind in der Tab. 43 für die Versuchspersonen A. L. und E. R. angeführt, und es geht hieraus hervor, daß die Ablenkung der Aufmerksamkeit sowohl von der zuerst als von der zu zweit eintretenden

Empfindung durch die Geruchsreize eine Herabsetzung der U-E. herbeiführt (K wird größer). Dagegen wird die U-E. feiner, wenn die Aufmerksamkeit vor dem Eintreten des zweiten Schalles auf das Ticktack der Uhr gelenkt wird, was zweifellos davon herrührt, daß diese Empfindung sehr schwach war, weshalb die Aufmerksamkeit stärker als bei den Versuchen ohne Ablenkung konzentriert wurde. Da nun zugleich der Gegenstand dieser Konzentration eine Schallempfindung war, die die zu vergleichenden Empfindungen wenig beeinflußte (vgl. Tab. 35), kann die größere Anspannung der Aufmerksamkeit sehr wohl eine feinere U-E. herbeigeführt haben.

Tabelle 43.

	Art der Versuche	A. L.			E. R.		
		R_{II}	r_2	K	R_{II}	r_2	K
I	Ohne Ablenkung	222,7	192,6	1,117	188,6	177,6	1,043
II	2′ Schall d. Geruch gestört	248,7	214,0	1,135	221,3	202,9	1,072
III	2′ „ „ Schall „	226,4	205,2	1,083	206,0	195,8	1,040
IV	1′ „ „ Geruch „	535,1	202,7	1,127	196,5	185,1	1,045

Die U-E. für Lichtempfindungen ist erstens von der räumlichen Anordnung der Reize abhängig. Sie wächst, d. h. $\frac{R}{r}$ nimmt ab, mit dem belichteten Areal der Netzhaut und ebenfalls mit dem Gesichtswinkel, unter welchem die eine Helligkeit gesehen wird, bis zu einem Optimum; dann nimmt sie wieder ab[1]). Ferner ist die U-E. im allgemeinen größer ($\frac{R}{r}$ kleiner), wenn die eine Helligkeit von der anderen umgeben ist, als wenn sie nur aneinander grenzen. Außer den räumlichen Verhältnissen spielt auch die Beobachtungsweise eine Rolle; die U-E. findet man gewöhnlich größer bei binokularer als bei monokularer Betrachtung[2]). Bei einigen Versuchsanordnungen handelt es sich einfach darum, zu entscheiden, ob ein Unterschied überhaupt merklich ist, bei anderen dagegen bringt die Versuchsperson durch Variation des einen Reizes einen Unterschied zustande. In diesem letzteren Falle ist es tatsächlich kein eben merklicher, sondern ein eben angebbarer Unterschied, der beobachtet wird, weshalb die U-E. auf diese

[1]) Simon, Zeitschr. für Psychol. Bd. 21, S. 434 u. f.
[2]) Simon, a. a. O. S. 439.

Weise bestimmt relativ große Werte des $\frac{R}{r}$ ergibt. Unter den günstigsten Bedingungen ist die U-E bei der Bestimmung des eben merklichen Unterschiedes 1,004—1005, bei der Bestimmung des eben angebbaren Unterschiedes kaum kleiner als 1,016[1]).

All die verschiedenen, die U-E beeinflussenden Momente müssen selbstverständlich konstant gehalten werden, wenn man die Abhängigkeit der U-E von der Reizstärke untersuchen will. Es muß aber hierbei noch ein Faktor in Betracht gezogen werden, nämlich der Adaptationszustand der Netzhaut. Werden die Bestimmungen mit dunkeladaptierter Netzhaut angefangen, was vorzuziehen ist, weil nur dieser Zustand sich einigermaßen konstant erhalten läßt, so variiert die U-E mit der Reizdauer, indem die Netzhaut sich bei dauernder Reizung immer mehr an den Reiz adaptiert. In der Tabelle 44 sind die Werte $\frac{R}{r}$, die einem eben merklichen Unterschied entsprechen, für verschiedene Werte des r und verschiedene Reizdauern t angeführt[2]). Aus der Tabelle ist ersichtlich, daß die Größe $\frac{R}{r}$ durchweg nicht konstant ist, indem sie mit wachsenden Werten des r erst ab- und dann wieder zunimmt. Eine Konstanz ist hier denn auch nicht zu erwarten, da die Erregung der Netzhaut, Gleich. 41 zufolge, eine recht komplizierte Funktion der Reizstärke ist. Wenn:

$$E = c \cdot log \cdot \left[1 + \frac{R}{\varkappa} \cdot (a - b \cdot log \cdot R + e \cdot log^2 \cdot R + \ldots)\right] \quad \text{(Gl. 42)}$$

so kann $E - e =$ konst. keine einfache Beziehung des $\frac{R}{r}$ herbeiführen. Außerdem beeinflussen sich die beiden Erregungen durch Sukzessivkontrast, indem die Helligkeiten gegenseitig auf den von der anderen umgestimmten Teil der Netzhaut zur Einwirkung kommen (S. 242). Ich habe früher nachgewiesen[3]), wie diese beiden Faktoren in Rechnung gezogen werden können, und man erhält dann als vereinfachten Ausdruck für die Beziehung der Reize:

$$\frac{\varkappa + R}{\varkappa + r} \cdot \frac{a - b \cdot log\, r + c\, log^2\, r}{a_1 - b \cdot log\, r + c\, log^2\, r} = K \quad \ldots \text{(Gl. 61)}$$

---

[1]) Simon, a. a. O. S. 440. Lehmann: Psychodynamik, S. 140.

[2]) In betreff der Versuchsanordnung, vgl. Psychodynamik, S. 166.

[3]) A. a. O. S. 266 u. f.

Tabelle 44.

R = / ts	1	4	16	64	256	1 024	4 096	16 384	65 536	262 144	1 048 576
1	1,210	1,075	1,044	1,030	1,026	1,022	1,008	1.006	1,016	1,017	
3	1,177	1,070	1,041	1,026	1,022	1,018	1,008	1,006	1,021	1.023	
10	1,210	1,090	1,052	1,040	1,030	1,025	1,010	1,009	1,023	1,030	
30			1,054	1,042	1,036	1,034	1,031	1,034	1,034	1,039	1,069

Die Konstanten a_1, und c der Gleich. 61 können wir nur aus den Messungsergebnissen berechnen; die Gleichung zeigt sich aber dann auch mit denselben völlig übereinstimmend.[1]

$\frac{R}{r}$ wächst ferner durchweg mit wachsender Reizdauer (Tab. 44), was zweifellos davon herrührt, daß die Ermüdung der Netzhaut mit der Reizdauer zunimmt. Nach sehr kurzer Reizung sind nämlich die von den beiden verschiedenen Reizen erregten Netzhautteile verschieden „gestimmt“, und daher wird der Unterschied der Reize relativ stark empfunden, wenn R bei den Bewegungen des Auges auf den von r gestimmten Teil der Netzhaut einwirkt. Der Unterschied der Stimmungen wird aber mit wachsender Reizdauer immer geringer, und die konstante Reizdifferenz wird somit immer weniger merklich, d. h. $\frac{R}{r}$ muß mit wachsender Reizdauer zunehmen. Wenn die Netzhaut nach etwa 30 Sek. für die betreffende Reizstärke völlig adaptiert ist, ist damit der Unterschied der Stimmungen aufgehoben, was in der Gleich. 61 sich dadurch ausdrücken läßt, daß $a_1 = a$. Die Gleichung nimmt dann die einfachere Form der Gleich. 57 an, d. h. für genügend große Werte des R und r wird $\frac{R}{r} =$ konst., wie aus der Tab. 44 ersichtlich. Ganz genau trifft dies jedoch bei den größten Reizstärken nicht zu.

Das Vergleichen übermerklicher Unterschiede. Wir sahen oben, wie das Weber'sche Gesetz unter besonderen Verhältnissen gültig sein kann, so daß die Reize in geometrischer Progression wachsen, wenn die erregten Empfindungen eine arithmetische Progression bilden. Es seien die von den Reizen a, c, f, i, l, n, p ausgelösten Empfindungen ε_a, ε_c, ε_f usw. ebenmerklich verschieden, also $\varepsilon_a - \varepsilon_c = \varepsilon_c - \varepsilon_f = \ldots = \varepsilon_n - \varepsilon_p$.

[1] A. a. O. 263.

Wenn das Weber'sche Gesetz hier als gültig angenommen wird, hat man:

$$\frac{a}{c} = \frac{c}{f} = \frac{f}{i} = \ldots\ldots = K \ldots\ldots\ldots \text{(Gl. 62).}$$

Sind die Empfindungsdifferenzen nur nicht gar zu groß, können wir ohne Schwierigkeit zwei übermerkliche Empfindungsdifferenzen, z. B. $\varepsilon_a - \varepsilon_i$ und $\varepsilon_i - \varepsilon_p$, miteinander vergleichen. Es sei nun ferner ε_i auf die Weise bestimmt, daß dieselbe Anzahl eben merklicher Empfindungsunterschiede zwischen ε_i und ε_a wie zwischen ε_i und ε_p liegt; es steht dann zu erwarten, daß $\varepsilon_a - \varepsilon_i = \varepsilon_i - \varepsilon_p$ und mithin $\frac{a}{i} = \frac{i}{p}$, woraus folgt:

$$i = \sqrt{a \cdot p} \ldots\ldots\ldots\ldots \text{(Gl. 63).}$$

Tatsächlich trifft Gleich. 63 aber fast nie zu, selbst nicht innerhalb der Grenzen, wo das Weber'sche Gesetz sich als gültig erweist. Man findet durchweg $\varepsilon_a - \varepsilon_i > \varepsilon_i - \varepsilon_p$, wenn $\varepsilon_a > \varepsilon_i > \varepsilon_p$. Bestimmt man also die Empfindung ε_x, die mit ε_a und ε_p gleichgroße Empfindungsunterschiede bildet, so daß $\varepsilon_a - \varepsilon_x = \varepsilon_x - \varepsilon_p$, ergibt sich der entsprechende Reiz $x > \sqrt{a . p}$. Die wirkliche Empfindungsmitte ε_x ist also größer als ε_i, und es liegen mithin zwischen ε_a und ε_x eine geringere Anzahl ebenmerklicher Empfindungsunterschiede als zwischen ε_x und ε_p. Man hat diese Tatsache so erklärt, daß die ebenmerklichen Unterschiede nicht gleichgroß seien [1]), sondern im allgemeinen mit der absoluten Empfindungsstärke wachsen. Diese theoretische Möglichkeit ist jedoch äußerst unwahrscheinlich. Wenn das Weber'sche Gesetz gültig ist, ist die dem ebenmerklichen Unterschiede entsprechende Erregungsdifferenz $E - e$ nämlich konstant, wie wir gesehen haben. Ist aber $E - e =$ konst., ist es schwierig einzusehen, wie der dadurch bestimmte ebenmerkliche Empfindungsunterschied variieren kann. Diese Erklärung ist noch sonderbarer als die zu erklärende Tatsache.

Die Sache läßt sich denn auch ganz anders auffassen. Die gegenseitigen Hemmungen und Bahnungen der gleichzeitigen oder sukzessiven Erregungen beeinflussen selbstverständlich die zu vergleichenden Empfindungen ganz anders, wenn drei intensiv recht verschiedene Erregungen gleichzeitig oder unmittelbar nacheinander gegeben sind, als wenn nur

[1]) Ament, Phil. Stud. Bd. 16, S. 135 u. f. Külpe, Phil. Stud. Bd. 18, S. 328 u. f.

zwei wenig verschiedene Erregungen vorhanden sind. Die Reize lösen daher im ersteren Falle gar nicht dieselben Empfindungen aus wie im letzteren. Wenn man $\varepsilon_{\prime\prime} - \varepsilon_{\prime}$ und $\varepsilon_{\prime} - \varepsilon_{p}$ vergleicht, sind es gar nicht dieselben Empfindungen, zwischen denen man früher eine gleichgroße Anzahl ebenmerklicher Empfindungsdifferenzen gefunden hat, und es steht daher auch nicht zu erwarten, daß $\varepsilon_{\prime\prime} - \varepsilon_{\prime} = \varepsilon_{i} - \varepsilon_{p}$ sich zeigen wird. Es kommt mit andern Worten gar nicht auf die konstant gehaltenen Reize, sondern auf die von den Reizen hervorgerufenen, zentralen Erregungen an, und in den Fällen, wo man diese Erregungen berechnen kann, (was immer schwierig ist, wenn es sich um mehrere, sich gegenseitig beeinflussende Erregungen handelt), findet man stets, daß *gleichgroßen Erregungsdifferenzen gleichgroße Empfindungsunterschiede entsprechen ohne Rücksicht darauf, ob die Empfindungsunterschiede ebenmerklich oder übermerklich sind.* Diese Verhältnisse sind indes so verwickelt, daß wir hier auf dieselben nicht näher eingehen können [1]).

Siebenundsechzigstes Kapitel.

Messung der Empfindungsstärke.

Im vorhergehenden haben wir gesehen, wie die Unterscheidungsgesetze gleichzeitig oder sukzessiv gegebener Empfindungen aus dem allgemeinen Gesetz der Nervenerregung unter der Voraussetzung abgeleitet werden können, daß einem eben merklichen Empfindungsunterschied eine konstante Differenz der Nervenerregungen entspricht. Da die auf diese Weise entwickelten Gesetze unter Berücksichtigung der gegenseitigen Beeinflussung der Erregungen tatsächlich mit den Messungen übereinstimmen, ist dadurch die Richtigkeit der Voraussetzung jedenfalls äußerst wahrscheinlich geworden. Bei der historischen Entwicklung der experimentellen Psychologie ist indes der umgekehrte Weg eingeschlagen worden. Indem Fechner nämlich von dem als gültig angenommenen Weber'schen Gesetze ausging und ferner den eben merklichen Unterschied als Maßeinheit der Empfindung feststellte, konnte er eine dem Gesetze der Nervenerregung analoge „psychophysische Maßformel" ableiten [2]). Gegen Fechners

[1]) Lehmann, Psychodynamik, S. 123 u. f. u. 274 u. f. Archiv für Psych. Bd. 6, S. 454 u. f.

[2]) Elemente der Psychophysik. Leipzig 1860. Bd. 2. S. 13 u. 33.

Maßformel sind viele, mehr oder weniger berechtigte Einwände erhoben worden, deren Berücksichtigung uns hier gar zu weit führen würde. Man kann indes, wie Kroman als erster nachgewiesen hat[1]), die Maßformel auf eine völlig einwandfreie Weise ableiten.

Es sei a der größte Reiz, der noch keine Empfindung zu erregen imstande ist, während der Reiz b die erste, überhaupt merkliche Empfindung hervorruft. Wir suchen darauf den Reiz c, der eine von der ersten ebenmerklich verschiedene Empfindung erregt; diese Empfindung ist also der Reihe nach die zweite. Ruft ferner der Reiz d eine Empfindung hervor, die von der zweiten ebenmerklich verschieden ist, so ist dadurch die Empfindung Nr. 3 bestimmt. Wird dies Verfahren fortgesetzt, finden wir schließlich einen Reiz p, der die n^{te} Empfindung erregt, und wir haben dann die beiden Reihen:

Ordnungszahl der Empfindungen	0	1	2	3	n
die entsprechenden Reize	a	b	c	d	p

Der Einfachheit halber können wir jetzt annehmen, daß das Weber'sche Gesetz für den untersuchten Fall gültig ist; man findet dann $b = a \cdot q$; $c = b \cdot q = a \cdot q^2$; $d = c \cdot q = a \cdot q^3$ . . . . . $p = a \cdot q^n$. Hieraus folgt:

$$n = \frac{1}{log\, q} \cdot log \frac{p}{a} = k\, log \frac{p}{a}, \text{ indem } \frac{1}{log\, q} = k \text{ gesetzt wird.}$$

Wird die Größe a als Maßeinheit der Reizstärke gewählt, nimmt die Gleichung die einfachere Form an: $n = k \cdot log\, p$, oder mit Worten: *Die Ordnungszahl der Empfindungen wächst dem Logarithmus der Reizstärke proportional.*

In dieser Form enthält das Gesetz nichts Hypothetisches; es drückt einfach eine zu beobachtende Tatsache aus. Es ist denn auch gegen diese Formulierung nie Einwände erhoben worden, ganz davon abgesehen, daß die erwähnte Maßformel die Sache aus pädagogischen Rücksichten so stark vereinfacht, daß sie unrichtig wird. Es kommt nämlich nirgends vor, daß das Weber'sche Gesetz bis zur Reizschwelle herab gültig ist; überall findet sich eine „untere Abweichung", die, wie wir oben sahen, eine einfache Folge des Erregungsgesetzes ist. Die durchgängige Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes wurde aber nur um der einfacheren Ableitung willen vorausgesetzt, und der eingeführte Fehler kann leicht korrigiert werden; hierauf brauchen wir nicht näher einzugehen. Durch die ab-

[1]) Tänke- og Själelära, Kopenhagen 1888. S. 132.

geleitete Form der Maßformel läßt sich indes keine eigentliche Messung der Empfindungsstärke erzielen, es werden nur die sukzessiven, voneinander eben unterscheidbaren Empfindungsstufen gezählt. Gehen wir auf die viel umstrittene Frage etwas näher ein, ob eine wirkliche Messung der Empfindungsstärke möglich sei.

Von einer direkten Messung der Empfindungen kann überhaupt keine Rede sein. Wenn zwei intensiv verschiedene Empfindungen derselben Art vorliegen, ist es unmöglich, anzugeben, wievielmal die eine stärker als die andere ist. Es handelt sich hier nicht um eine praktische Schwierigkeit, so wie es schwierig sein kann, zu bestimmen, wievielmal das Areal eines Quadrates größer als das eines anderen ist. Mit größerer oder geringerer Genauigkeit läßt sich diese letztere Aufgabe immer nach dem Augenmaß lösen, dagegen weiß man überhaupt nicht, wie man das Ausmessen einer Empfindung mit einer anderen anfangen soll. Die Aufgabe hat einfach keinen Sinn, und eine direkte Messung der Empfindung mittels einer Einheit derselben Art ist damit ausgeschlossen.

Außer der direkten gibt es aber eine indirekte Messung. Es wurde schon früher (S. 9) erwähnt, wie man in der Physik oft eine Erscheinung auf Umwegen, durch die Messung einer Folgeerscheinung, mißt. So bestimmt man z. B. die Temperatur eines Körpers durch die Verlängerung einer Quecksilbersäule, die Stärke eines elektrischen Stromes durch die Ablenkung einer Galvanometernadel usw., indem man einfach eine Verlängerung bzw. eine Ablenkung bestimmter Größe als Einheit nimmt. Wenn eine solche indirekte Messung überhaupt eine Bedeutung haben soll, müssen die beiden Erscheinungen selbstverständlich einigermaßen proportional wachsen; nur weil die Ausdehnung des Quecksilbers ungefähr der Temperatur proportional wächst, können wir die Verlängerung der Quecksilbersäule als Maß der Temperatur anwenden usw.

Im vorhergehenden haben wir gesehen, wie Empfindungsunterschiede, die wir als gleich beurteilen, aller Wahrscheinlichkeit nach gleichgroßen Erregungsdifferenzen entsprechen, und es besteht somit Proportionalität zwischen Empfindungs- und Erregungsdifferenzen. Wenn Gleichheit der Empfindungsunterschiede ($\varepsilon_a - \varepsilon_i = \varepsilon_i - \varepsilon_p$) immer mit Gleichheit der Erregungsdifferenzen ($E_a - E_i = E_i - E_p$) einhergeht, so hat man folglich:

$$\frac{\varepsilon_a - \varepsilon_i}{E_a - E_i} = \frac{\varepsilon_i - \varepsilon_p}{E_i - E_p} = k \text{ oder } \varepsilon_a - \varepsilon_i = k \cdot (E_a - E_i),$$

und, wenn $E_i = 0$ und mithin auch $\varepsilon_i = 0$ sind: $\varepsilon_a = k \cdot E_a$. Da nun ferner, wie wir oben sahen, die Erregung E sich als eine mit den gegebenen Umständen variierende Funktion φ vom Reize R darstellen läßt, so können wir also wirklich die Empfindung mittels $\varphi(R)$ messen, indem $\varepsilon = k \cdot E = k_1 \cdot \varphi(R)$. Das Gesetz der Nervenerregung, Gleich. 22, ist dann tatsächlich eine psychophysische Maßformel und läßt sich durch keine Einwände gegen ihre mehr oder weniger geschickte Ableitung in absurdum reduzieren.

III. Das Verknüpfen.

Achtundsechzigstes Kapitel.

Das Auswendiglernen.

Bei den unwillkürlich sich bildenden Assoziationen, die oben (Kap. 57—59) eingehend erörtert wurden, war von der Tätigkeit der Aufmerksamkeit gar keine Rede. Damit soll jedoch nicht gesagt sein, daß die Aufmerksamkeit sich an der Bildung dieser Assoziationen nicht beteiligt. Es kann allerdings vorkommen, daß eine Wahrnehmung, die die Aufmerksamkeit gar nicht zu fesseln vermag, so häufig wiederholt wird, daß ihre Glieder sich schließlich fest assoziieren; in den weitaus häufigsten Fällen aber sind die assoziierten Erscheinungen aufmerksam beobachtet worden. Zwischen diesen unwillkürlichen und den jetzt zu behandelnden willkürlichen Verknüpfungen besteht daher einfach nur der ganz unwesentliche Unterschied, daß sie durch unwillkürliche bzw. willkürliche Aufmerksamkeit zustande kommen; im ersteren Falle ist das Beachtungsmotiv durch die zu beobachtenden Erscheinungen selbst hervorgerufen, während es im letzteren Falle durch andere Umstände gegeben ist. Die meisten Assoziationen des Alltagslebens entstehen wohl, indem die Dinge uns aus irgendwelchen praktischen Rücksichten interessieren und daher unsere Aufmerksamkeit fesseln. Es können aber auch entferntere Interessen die Aufmerksamkeit auf bestimmte Erscheinungen lenken und in einer relativ kurzen Zeit eine willkürliche Verknüpfung zustande bringen; dann findet ein *Erlernen* statt. Bei der experimentellen Untersuchung der Assoziationsbildung muß dieselbe immer eine willkürliche sein; wir können aber ohne weiteres die hier gewonnenen

Resultate auf die unwillkürliche Assoziationsbildung übertragen, da es keinen wesentlichen Unterschied zwischen den beiden Formen gibt.

Die Untersuchung der unwillkürlichen Assoziationsbildung führte uns zu dem Satze, daß Zustände sich assoziieren, wenn sie im Bewußtsein eine Einheit werden (S. 447). Eine Assoziation muß daher um so leichter zustande kommen, je mehr Momente vorliegen, die die Zustände zu einer Einheit verbinden. Eine beliebige Reihe Wörter, die in keiner Beziehung zueinander stehen, kann zu einer Einheit verbunden werden, wenn die Worte in konstanter Reihenfolge genügend oft wiederholt werden. Gelingt es aber, der Wortreihe z. B. einen Sinn zu geben, was durch kleine Veränderungen einzelner Wörter oft erreicht werden kann, so stellt die Wortreihe kraft dieses Sinnes schon eine Einheit dar und läßt sich daher viel leichter erlernen.

Die Namen der Sternbilder des Tierkreises sind nicht leicht zu behalten, man kann aber diesen Namen z. B. auf die folgende Weise einen Sinn geben: „Des Widders und des Stieres Zwillinge krebsen mit dem Löwen und der Jungfrau, und der gewichtige Skorpion schießt den Steinbock ins Wasser zu den Fischen.“ Die Worte beschreiben jetzt eine Situation, die sich relativ leicht festhalten läßt.

Die Vorzüge des Anschauungsunterrichts vor der bloßen Beschreibung beruhen, wie ersichtlich, eben darauf, daß die Anschauung ein einheitliches Bild gibt, wo die Beschreibung eine Reihe Merkmale liefert, die sich nur schwierig zu einem einheitlichen Bilde vereinigen lassen. Sind Wörter zu verbinden, aus welchen weder ein sinnvoller Satz noch ein anschauliches Bild sich bilden lassen, so kann das Erlernen schon dadurch erleichtert werden, daß man die Wörter in Verse bringt; der Rhythmus allein verbindet die Glieder durch die periodisch wiederkehrende Akzentuation.

Es geht hieraus hervor, daß man bei experimentellen Untersuchungen der Assoziationsbildung, wo Wortreihen auswendig gelernt werden, dafür Sorge tragen muß, daß weder die einzelnen Worte noch die Wortreihe irgendeinen Sinn geben können. Sobald nämlich zwei aufeinander folgende Glieder einer Reihe zusammen ein sinnvolles Wort bilden, so sind sie schon dadurch verbunden, und ein ferneres Verknüpfen wird an dieser Stelle unnötig. Jede sinnvolle Aufeinanderfolge der Worte führt daher eine Erleichterung des Erlernens von unbekannter Größe herbei, so daß die Ergebnisse des Aus-

wendiglernens verschiedener Reihen unvergleichbar werden. Man wendet daher zu solchen Versuchen sinnlose Silben an, die von zwei einen Vokal einschließenden Konsonanten gebildet sind (z. B. *fap*, *rut*, *mes*, usw.), und sorgt dafür, daß weder Sinn, Reim noch Wiederholung derselben Buchstaben usw. vorkommen [1]).

Bildung der Assoziationen. Liest man eine Reihe sinnloser Silben in der Absicht, sie auswendig zu lernen, so wird man diesen Zweck am besten erreichen, wenn man möglichst viele Silben gleichzeitig festzuhalten sucht. Während man die Reihe in einem bestimmten Tempo liest, sucht man seine Aufmerksamkeit auf die schon vorhandenen Silben zu konzentrieren, so daß sie von den neu hinzutretenden nicht völlig aus dem Bewußtsein verdrängt werden. Eine solche Lenkung der Aufmerksamkeit ist recht anstrengend und hat dem Anscheine nach keinen besonderen Erfolg, indem nur sehr wenige Vorstellungen gleichzeitig beachtet werden können. Durch diese Tätigkeit erreicht man aber, daß die gleichzeitig festgehaltenen Vorstellungen eine Einheit bilden, so daß sie sich assoziieren. Wie dies Ergebnis sich physiologisch durch die gegenseitige Bahnung der sukzessiven Vorgänge erklären läßt, wurde schon oben (S. 448) auseinandergesetzt, so daß wir dabei nicht zu verweilen brauchen.

Die Silbenreihe ist erlernt, wenn sie fehlerfrei hergesagt werden kann. Bei diesem Resultate spielen indes nicht nur die gegenseitige Bahnung der sukzessiven Vorgänge, sondern auch das Abklingen dieser Vorgänge, *die zentralen Nachbilder der Vorstellungen*, eine wesentliche Rolle. Wenn die Reihe nur kurz ist, kann die erste Silbe noch einigermaßen deutlich sein, wenn die letzte eben gelesen worden ist; es besteht dann die Möglichkeit, daß die ganze Reihe sofort nach einmaligem Lesen hergesagt werden könne. Ist die Reihe aber so lang, daß die erste Silbe nach dem Lesen der letzten dem Bewußtsein völlig entschwunden ist, kann die Reihe auch nicht sofort hergesagt werden. Wir sahen aber oben (S. 547), daß die zentralen Nachbilder keineswegs völlig abgeklungen sind, weil sie keine bewußten Vorstellungen herbeiführen; je nach der Art der Vorstellungen und den individuellen Verhältnissen kann eine Wirkung des Nachbildes noch 30 bis

---

[1]) Müller und Schumann, Zeitschr. für Psychol. Bd. 6, S. 95 u. f. Lehmann: Psychol. Methodik, S. 69.

120 Sekunden nach dem Aufhören der Empfindungen konstatiert werden. Wenn also das Lesen der Silbenreihe wiederholt wird, ehe die Nachbilder abgeklungen sind, werden dadurch die zentralen Vorgänge verstärkt, und die Nachbilder klingen langsamer ab. Durch Wiederholung der Lesungen erreicht man auf diese Weise, daß die erste Silbe, indem eine Lesung eben beendigt ist, bewußt hervortreten kann, wenn die Aufmerksamkeit darauf gelenkt wird. Ob dann diese Silbe die übrigen fehlerfrei zu reproduzieren vermag, wird von den beiden Umständen, dem Leitungswiderstand der Nervenbahnen und der Stärke jedes zentralen Nachbildes, abhängig sein; wenn nur eine einzige Vorstellung das Nachbild der folgenden über die Schwelle des Bewußtseins nicht erheben kann, tritt sofort eine Stockung der Reproduktion ein. Die Bedingung dafür, daß die Reproduktion fehlerfrei stattfinden soll, wird also die sein, daß *jedes Nachbild wenigstens ein solches Minimum der Intensität besitzt, daß es, durch die Bahnung von der vorhergehenden Vorstellung aus verstärkt, eine bewußte Vorstellung herbeiführt.* Alles übrige gleich wird dies zur Reproduktion notwendige Minimum um so schwieriger erreicht, je größer das Intervall zwischen den einzelnen Lesungen derselben Silbe ist, weil das Nachbild um so mehr an Stärke abnimmt, je größer diese Zeit wird. Liest man also Silbenreihen mit gespannter Aufmerksamkeit in konstantem Tempo, so wächst die zur Erlernung der Reihe nötige Anzahl Wiederholungen mit der Zahl der Silben.

Bestimmte Werte der zur Erlernung einer Silbenreihe nötigen Anzahl Wiederholungen sind nicht anzugeben, da die Zahlen individuell äußerst verschieden sind. Ferner sind sie von der Geschwindigkeit des Lesens abhängig. Da die Verknüpfung der Vorstellungen auf eine Bahnung der sukzessiven Vorgänge beruht, wodurch der Leitungswiderstand der Bahnen herabgesetzt wird, so muß dies um so schneller erreicht werden, je mehr sich die Bahnung geltend machen kann. Bei sehr kurzen Intervallen, etwa 0,5 Sekunden, ist die Bahnung, wie aus der Fig. 64 (S. 438) ersichtlich, nur gering; werden die Intervalle sehr lang, über 3 Sekunden, so wird die Bahnung zwar anfangs in voller Stärke wirken, sinkt aber dann mit wachsendem Intervalle immer mehr. Es steht also zu erwarten, daß das Maximum der Bahnung, und mithin das Minimum der zum Erlernen nötigen Wiederholungen, bei einem Intervalle von etwa 3 Sekunden liegt, so daß um so mehr Wiederholungen

erforderlich gefunden werden, je größer die Geschwindigkeit des Lesens wird.

Diese theoretischen Erwartungen sind vollends von der Erfahrung bestätigt. So fand Ogden[1]) durchweg die kleinste Anzahl der Wiederholungen bei dem größten der untersuchten Intervalle (2,6 Sekunden) und die größte Anzahl Wiederholungen beim kleinsten Intervalle (0,33 Sekunden). Wie die Anzahl der Wiederholungen wächst, wenn das Intervall abnimmt, ist übrigens individuell äußerst verschieden. Es wurde mit 12-silbigen Reihen gearbeitet, und während eine Versuchsperson die Wiederholungszahl $W = 7{,}0$ beim Intervalle 2,6 Sekunden, $W = 33{,}0$ beim Intervalle 0,33 Sekunden fand, waren die entsprechenden Zahlen einer anderen Versuchsperson $W = 9{,}7$ bzw. $W = 19{,}5$. Die größeren Intervalle (1,5 Sekunden und darüber) sind indes recht unbequem, weil es sehr schwierig ist, die Aufmerksamkeit so lange ausschließlich auf die zu erlernenden Silben zu konzentrieren[2]); im allgemeinen werden daher auch viel kürzere Intervalle vorgezogen.

Aus der Theorie ergibt sich ferner, wie schon oben (S. 166) hervorgehoben, daß *die Wirkung der einzelnen Wiederholungen*, gleiche Geschwindigkeit des Lesens vorausgesetzt, *sich keineswegs gleichmäßig über die ganze Silbenreihe erstreckt*; *die Wirkung muß größer am Anfang und am Ende als in der Mitte der Reihe sein.* Liest man also eine Reihe eine geringere Anzahl Male als die zur fehlerfreien Reproduktion nötige, so wird man im allgemeinen finden, daß die beiden Enden derselben erlernt sind, wenn die Mitte noch unsicher ist. Daß es sich tatsächlich so verhält, hat Ebbinghaus durch Versuche dargetan[3]), indem er 10- und 12-silbige Reihen ein-, zwei- oder mehrmals las und unmittelbar darauf die Reproduktion versuchte. Wenn er stockte, half ihm ein Assistent weiter und notierte, an welchen Punkten der Reihe Hilfe erforderlich war (Methode der Hilfen). Indem nun die Reproduktion nach einer verschiedenen Anzahl Lesungen versucht wurde, gewann er ein statistisches Material, aus welchem hervorging, wie häufig bei jeder einzelnen Nummer der Reihe Hilfe erforderlich gewesen war. Da eine Stockung einfach bedeutet, daß die Leitungsfähigkeit der betreffenden Bahn nicht genügt, um eine Repro-

---

[1]) Archiv für Psychol. Bd. 2, Tab. IX, S. 164–165.
[2]) A. a. O. S. 112, 117 u. f.
[3]) Ebbinghaus: Psychologie, Bd. 1, Leipzig 1902. S. 624.

duktion zu ermöglichen, wird also die Leitungsfähigkeit um so kleiner, der Leitungswiderstand mithin um so größer, je häufiger Hilfe an einem bestimmten Punkt nötig gefunden wird.

In der Fig. 68 sind die Ergebnisse der erwähnten Versuche graphisch dargestellt, indem als Abszisse die Ordnungszahl der Reihenglieder, als Ordinate die ausgeglichenen Werte der auf jedes Glied fallenden Anzahl Hilfen abgesetzt sind. Die Kurven zeigen die Verhältnisse einer 10-, bzw. einer 12-gliedrigen Reihe; in beiden Fällen ist ersichtlich, wie in der Mittte eine viel größere Anzahl Hilfen als an den Enden erforderlich war.

Aus den erwähnten Untersuchungen läßt sich noch ein ferneres Resultat ableiten, indem man feststellen kann, wieviel Silben nach einer, zwei, drei usw. Lesungen durchschnittlich behalten werden können. Ebbinghaus fand, daß die erste Lesung eine größere Wirkung hat als irgendeine der folgenden, indem nach der ersten Lesung drei Silben, für je drei weitere Wiederholungen aber nur zwei Silben behalten werden. Nach der ersten Lesung wächst somit die Wirkung der Wiederholungen proportional zur Anzahl derselben. Wie wir später sehen werden, konnte Ebbinghaus die Gültigkeit dieses Satzes auch für eine größere Anzahl Wiederholungen bestätigen als die zur Erlernung der Reihe erforderliche. Es ist jedoch recht unwahrscheinlich, daß diese Proportionalität wirklich unter allen Umständen bestehen wird. Zwar fand Ebbinghaus erst bei einer sehr großen Anzahl Wiederholungen eine Abweichung in der Richtung, daß die Wirkung mit wachsender Anzahl der Wiederholungen kleiner wurde; es scheint mir aber sehr wohl möglich, daß dies Ergebnis durch die große Geschwindigkeit des Lesens, die Ebbinghaus bevorzugte, herbeigeführt worden ist. Bei einer geringeren Geschwindigkeit und damit folgenden größeren Konzentration der Aufmerksamkeit wird man aller Wahrscheinlichkeit nach finden, daß jede neue Wiederholung eine etwas geringere Wirkung als die vorhergehende hat. Es liegen aber keine Untersuchungen hierüber vor, so daß diese Behauptung vorläufig nur auf theoretischen Betrachtungen fußt.

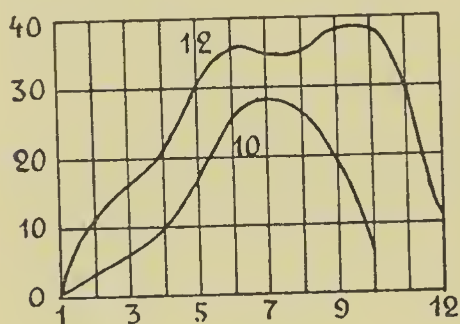


Fig. 68.

Wird eine Silbenreihe A, B, C, ... N auswendig gelernt, so bilden sich, wie leicht verständlich, die Assoziationen nicht nur zwischen den unmittelbar aufeinander folgenden Silben A-B, B-C, usw., sondern auch zwischen den einander entfernteren Gliedern A-C, A-D, ... B-D, B-E, ... usw. Jeder Vorgang bahnt nämlich die folgenden an, und die Wirkung dieser Bahnung, die Verknüpfung der sukzessiven

Vorgänge, muß sich mithin von jedem Gliede aus auf alle anderen erstrecken. Wie schon früher (S. 165) erörtert, muß diese Wirkung aber um so schwächer werden, je weiter die betreffenden Glieder der Reihe zeitlich voneinander entfernt sind. Es leuchtet somit ein, daß die festeste Assoziation zwischen den unmittelbar aufeinander folgenden Gliedern zustande kommt, und diese bildet daher die *Hauptassoziation*, während die *Nebenassoziationen* zwischen den entfernteren Gliedern um so loser werden, je größer die Entfernung der Glieder wird. Daß es sich tatsächlich so verhält, wie nach der Theorie zu erwarten stand, läßt sich durch Versuche direkt dartun. Hat man nämlich z. B. die Reihe A_1, A_2, A_3, A_4 . . . . A_{16} gelernt, so kann man später die Reihen A_1, A_3, A_5 . . . . A_{15}, A_2, A_4, ... A_{16} oder A_1, A_4, A_7, ... A_{16}, A_2, A_5, . . . A_{14} usw. mit einer geringeren Anzahl Wiederholungen als die ursprüngliche Reihe lernen. Es zeigt sich aber, daß die Ersparnis um so geringer wird, je weiter die in der neuen Reihe aufeinander folgenden Silben in der ursprünglichen voneinander entfernt waren. Die Ersparnis kann also nicht einfach davon herrühren, daß die betreffenden Silben schon einmal vorher erlernt wurden; sie ist augenscheinlich von der Stärke der schon gebildeten Nebenassoziationen abhängig[1]).

Da die Bahnung, wie schon früher (S. 166) dargelegt, nicht nur progessiv, sondern auch rekurrent verlaufen kann, so assoziieren sich die Glieder einer Reihe mithin in beiden Richtungen. Wenn die Silbenreihe A_1, A_2, A_3, ... A_{16} in der angegebenen Ordnung erlernt worden ist, kann die umgekehrte Reihe A_{16}, A_{15}, A_{14}, ... A_1 zwar nicht auch fehlerfrei hergesagt werden, aber diese Reihe läßt sich mit einer viel geringeren Anzahl Wiederholungen als eine entsprechende neue Reihe erlernen[2]). Dieser Unterschied der Festigkeit der Assoziationen beruht wohl einfach darauf, daß die rekurrente Bahnung bedeutend schwächer als die progressive ist.

Die Assoziationsarbeit. Daß beim Auswendiglernen eine Arbeit im physikalischen Sinne geleistet wird, kann kaum einem Zweifel unterliegen. Am Anfang des Erlernens haben die sukzessiven Vorgänge nichts miteinander zu tun, am Ende desselben sind sie so miteinander verknüpft, daß jeder Vorgang den folgenden erregen kann und die betreffende Vorstellung über die

[1]) Müller u. Schumann, Zeitschrift für Psychol. Bd. 6, 130 u. f.
[2]) Ebbinghaus: Über das Gedächtnis. Leipzig 1885. S. 64.

Schwelle des Bewußtseins erheben. Durch das Erlernen ist also erzielt worden, daß die Erregung einer Neuronengruppe sich sukzessiv zu einer ganzen Reihe anderer Neuronengruppen fortpflanzen kann, was sowohl eine größere Erregbarkeit der betreffenden Neurone als eine leichtere Fahrbarkeit der sie verbindenden Nervenbahnen erheischt. Diese Veränderungen der Nervenelemente repräsentieren augenscheinlich eine Arbeit, die nur auf Kosten der Energie des Zentralorgans geleistet werden kann.

Wie die Resultate dieser theoretischen Betrachtungen durch die Ergebnisse der Stoffwechselbestimmungen bestätigt worden sind, haben wir schon gesehen. Die auf theoretischem Wege aufgestellte Formel (Gleich. 55), die sich als gültig für die betreffenden Messungen erwiesen hat, können wir jetzt in eine für fernere Berechnungen bequemere Form bringen. Es sei τ die Zeit, die vom Anfang der Lesung einer Silbe an bis zum Anfang der Lesung der folgenden verfließt; man hat dann $t = \tau \cdot N \cdot W$, indem t die ganze zum Erlernen der Reihe nötige Zeit, N die Silbenzahl und W die Anzahl der Wiederholungen ist. Wird dieser Ausdruck in die Gleich. 55 eingesetzt, erhält man:

$$A = \frac{\tau \cdot N^2 \cdot W}{a + (N-1)\,b} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad \text{(Gl. 64).}$$

Wir sahen schon oben, daß $(N-1) \cdot b$ im Verhältnis zu a vernachlässigt werden kann, solange N klein ist. Man hat dann, indem $\frac{\tau}{a} = k$ gesetzt wird:

$$A = k \cdot N^2 \cdot W \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad \text{(Gl. 65).}$$

Wird die Gleich. 65 der Einfachheit wegen auch bei größeren Werten des N angewandt, so wird die auf diese Weise berechnete Arbeit A größer, als sie tatsächlich sein sollte.

Bisher wurde stets vorausgesetzt, daß die zu erlernende Reihe bei jeder Lesung vollständig, d. h. vom Anfang bis zum Ende, durchgelesen, und daß das Lesen fortgesetzt wurde, bis ein fehlerfreies Hersagen möglich wurde. Es ist aber keineswegs wahrscheinlich, daß diese Lernweise die zweckmäßigste sei. Zwar ist das Erlernen einer gegebenen Reihe, unserer Auffassung zufolge, eine ganz bestimmte Arbeit, die sich nur mit Aufwand einer entsprechenden Energiemenge ausführen läßt; es wird aber dem Organismus im allgemeinen nicht

einerlei sein, ob die Energiemenge in kürzerer oder längerer Zeit umgewandelt wird. In bezug auf die Muskelarbeit sahen wir schon oben (Kap. 13), daß es nur bei kurzdauernden Arbeiten zweckmäßig ist, die möglichst große Arbeit in möglichst schnellem Tempo zu leisten. Hierdurch ermüden nämlich die Muskeln so stark, daß man auf die Dauer mehr Arbeit leisten kann, wenn man in einem langsameren Tempo arbeitet. Da jedes Organ in einer gegebenen Zeit nur über eine bestimmte Energiemenge verfügt, so kann also sehr wohl von einer mehr oder weniger zweckmäßigen Arbeitsweise die Rede sein. *Die zweckmäßigste, am meisten ökonomische Anwendung der Arbeitskraft eines Organs wird selbstverständlich die sein, die eine gegebene Arbeit während der möglichst kurzen Zeit mit der möglichst geringen Ermüdung des Organs leistet.* Es handelt sich somit in allen Fällen um die zeitliche Verteilung der Arbeit.

Beim Erlernen eines gegebenen Stoffes kann in zweifacher Beziehung von einer Teilung der Arbeit die Rede sein. Entweder kann man *den Stoff teilen*, so daß er stückweise statt als Ganzes gelernt wird, wonach dann schließlich die einzelnen Teile verknüpft werden müssen. Oder aber man kann die zum Erlernen erforderlichen *Wiederholungen verteilen*, indem man die Arbeit unterbricht, bevor der Stoff gelernt worden ist, um sie dann nach einer kürzeren oder längeren Zwischenzeit fortzusetzen. Diese beiden Teilungen werden in der Praxis immer angewandt, wenn ein größerer Stoff erlernt werden soll. Der Schauspieler z. B., der eine große Rolle lernt, kann sie einfach nicht an einem Tage bewältigen; die Arbeit muß auf mehrere Tage verteilt werden. Ebenfalls zeigt es sich unpraktisch, einen solchen Stoff als Ganzes zu lernen; man teilt ihn, lernt erst die einzelnen Teile und verknüpft sie dann später. Jedes Schulkind, das eine größere Reihe von Namen oder Wörtern auswendig lernen soll, wendet instinktiv dasselbe Verfahren an. Wenn aber eine bestimmte Arbeitsweise, sei es auf physischem, sei es auf psychischem Gebiete, in der Praxis stets bevorzugt wird, dann kann man sicher davon ausgehen, daß sie sich als vorteilhaft erwiesen hat, und es wird unsere Aufgabe, nachzuweisen, welche diese Vorteile sind.

In betreff der *Teilung des Stoffes* kann die Sache nicht zweifelhaft sein. Gleich. 55 (S. 536) zufolge wächst die beim Erlernen einer Silbenreihe pro Sekunde zu leistende Arbeit fast proportional zur Silbenzahl N. Wenn N aber so groß wird, daß das Zentralorgan die Arbeit nicht leisten kann, wird die

Reihe überhaupt nicht gelernt; der Anfang ist vergessen und läßt sich nicht reproduzieren, wenn eine Lesung beendigt ist. Teilt man aber die Reihe in Teile geeigneter Länge, läßt sich immer jeder einzelne Teil erlernen, und dann können schließlich die Teile verknüpft werden, ohne daß sie während dieser Arbeit wieder vergessen werden. Wenn man auf diese Weise, nach der „Teilmethode", verfährt, wird eine etwas größere Anzahl Wiederholungen als bei der „Ganzmethode" notwendig. Das Erlernen einer Reihe ist nämlich eine ganz bestimmte Arbeit, und diese Arbeit kann nicht geleistet werden, wenn die geteilte Reihe dieselbe Anzahl Wiederholungen erfährt wie die ungeteilte.

Am besten läßt sich dies aus einem bestimmten Beispiel ersehen. Eine Versuchsperson lernte 12-silbige Reihen nach der Ganzmethode in durchschnittlich 12,8 Lesungen. Die hierdurch geleistete Arbeit war der Gleich. 65 zufolge $A = k \cdot 12{,}8 \cdot 12^2$. Werden die Reihen in zwei Hälften geteilt, und jede Hälfte achtmal gelesen, so ist die hierdurch geleistete Arbeit $a = 2 \cdot k \cdot 8 \cdot 6^2$. Es erübrigt noch die Arbeit $A - a = k \cdot (12{,}8 - 4) \cdot 12^2 = k \cdot 8{,}8 \cdot 12^2$, die eben ausgeführt wird, wenn die Reihe als Ganzes 8,8 mal gelesen wird. Jede Silbe ist dann $8 + 8{,}8 = 16{,}8$ mal gelesen, während die Reihe, wenn sie durchweg nur als Ganzes gelesen wird, nur 12,8 Lesungen erfordert. Tatsächlich lernte die betreffende Versuchsperson bei der angegebenen Teilung die Reihen in 15 Lesungen [1]). Da wir aber A nach der Gleich. 65 berechnet und mithin zu groß erhalten haben, steht es hiermit in völliger Übereinstimmung, daß die berechnete Anzahl Lesungen (16,8) größer als die gefundene (15) wird.

Aus der angeführten Berechnung ist ersichtlich, warum die Ganzmethode eine geringere Anzahl Wiederholungen als die Teilmethode erfordert. Bei maximaler Anspannung der Aufmerksamkeit leistet man in einer konstanten Anzahl Wiederholungen einfach eine größere Arbeit beim Lesen der ungeteilten als beim Lesen der geteilten Reihe. Hierdurch wird es dann ferner verständlich, *warum die Teilmethode im allgemeinen vor der Ganzmethode beim Erlernen eines größeren Stoffes bevorzugt wird: die Teilmethode nimmt zwar eine längere Zeit in Anspruch, die Anspannung der Aufmerksamkeit, und mithin die Ermüdung, wird aber wesentlich geringer.*

Bei ferneren von Steffens mit derselben Versuchsperson angestellten Versuchen zeigte sich die Differenz zwischen der Teilmethode und der Ganzmethode bedeutend geringer als bei den angeführten Messungen, und die bei der Teilmethode gefundenen Werte stimmen daher noch weniger mit den theoretisch berechneten

---

[1]) Steffens, Zeitschrift für Psychol. Bd. 22, S. 350.

überein[1]). Die späteren Versuche von Ebert und Meumann führten sogar zu dem Resultate, daß die Teilmethode eine bedeutend geringere Anzahl Wiederholungen als die Ganzmethode erforderte[2]). Da ich, seinerzeit zu ganz andern Zwecken, persönlich Assoziationsversuche anstellte[3]), benutzte ich die Gelegenheit, einen Vergleich der beiden Methoden durchzuführen. An 50 aufeinander folgenden Tagen wurden jeden Tag zwei 16silbige Reihen, die eine nach der Ganzmethode, die andere nach dem Teilverfahren, gelernt, und zwar so, daß abwechselnd die geteilte und die ungeteilte Reihe zuerst gelesen wurden. 36 Stunden später wurden die beiden Reihen nach der Ganzmethode wiedererlernt. Da die Streuung der gefundenen Anzahl Wiederholungen in beiden Fällen eine ganz unsymmetrische ist, muß als der wahrscheinliche Wert der dem Häufigkeitsmaximum entsprechende angenommen werden[4]). Auf diese Weise finde ich:

beim Ganzverfahren	15,63 W.,	zum Wiedererlernen	10,36 W.
„ Teilverfahren	21,40 „,	„ „ „	10,79 „.

Da zum Wiedererlernen nach einer konstanten Zeit in beiden Fällen dieselbe Anzahl Wiederholungen erforderlich war, hatten die beiden Reihen beim Neuerlernen dieselbe Festigkeit (vgl. S. 593). Dessenungeachtet zeigt es sich, daß die Teilmethode beim Neuerlernen eine viel größere Anzahl Wiederholungen erfordert hat, und diese Zahl stimmt recht gut mit der theoretisch berechneten überein. Die geteilte Reihe wurde nämlich nach dem folgenden Schema gelesen:

Silbe 1— 4 dreimal,	Silbe 5— 8 dreimal,	Silbe 1— 8 dreimal,
„ 9—12 „	„ 13—16 „	„ 9—16 „ ,
„ 1—16 „ .		

Darauf wurde das Lesen nach diesem Schema einmal wiederholt, und schließlich die Reihe so viele Male als Ganzes gelesen, daß sie fehlerfrei hergesagt werden konnte. Gleich. 65 zufolge muß eine 16silbige Reihe, die beim Ganzverfahren 15,63 Wiederholungen erfordert, nach diesem Schema 23,13 mal gelesen werden; ich fand, wie gesagt, 21,40 mal. Da aber die nach der Gleich. 65 berechnete Arbeit gar zu groß wird, muß auch die berechnete Anzahl Lesungen größer als die gefundene werden, was denn auch zutrifft.

Interessanter als diese Übereinstimmung ist indes die Fehlerquelle, die sich bei der Selbstbeobachtung herausstellte und die weit größeren Abweichungen der Ebert-Meumann'schen Versuche unschwer erklärte. Wenn man beim Auswendiglernen so verfährt, daß man stets möglichst viele der eben gelesenen Silben festzuhalten sucht (S. 569), so spielen die zahlreichen Intervalle der Teilmethode eine wesentliche Rolle. Bei der Ganzmethode kommt nur das Intervall zwischen zwei sukzessiven Lesungen vor; während dieser wenigen Sekunden kann man von einer längeren Reihe nur die letzten Silben festhalten, die dadurch vielleicht eine etwas größere Festigkeit als

---

[1]) A. a. O. S. 351 u. f.

[2]) Archiv für Psychol. Bd. 4, S. 1 u. f.

[3]) Lehmann und Pedersen: Das Wetter und unsere Arbeit, S. 196.

[4]) Lehmann: Psychol. Methodik, S. 57 u. f.

die übrigen erlangen. Wird die Reihe dagegen geteilt, so können die einzelnen Teile in den Intervallen zwischen zwei sukzessiven Lesungen als Ganzes festgehalten, d. h. ein oder zweimal repetiert werden. Verfährt man auf diese Weise, wird die Anzahl der faktischen Wiederholungen mithin viel größer als die der gezählten, und es gelingt dann unschwer, eine Reihe nach der Teilmethode mit wenigeren Wiederholungen als nach der Ganzmethode zu erlernen. Man ersieht aber sofort, daß dies nur ein Selbstbetrug ist, wenn man das Repetieren während der Intervalle unterläßt; dann nähert sich die Anzahl der Wiederholungen mehr oder weniger dem theoretischen Werte.

Über die Frage von der *Verteilung der Wiederholungen* liegen nur wenige Untersuchungen vor, und sie sind größtenteils recht unzweckmäßig angestellt; hierauf können wir nicht näher eingehen. Als Resultat dieser Versuche kann als einigermaßen sicher festgestellt werden: *Die möglichst große Verteilung ist nicht die zweckmäßigste.* Für 10- und 12silbige Reihen erreicht die Assoziation das Maximum der Festigkeit, wenn die gegebene Anzahl Wiederholungen in Gruppen von drei kontinuierlichen Wiederholungen geteilt wird und die Gruppen mit viertelstündigem Zwischenraum gelesen werden. Sowohl bei größeren als bei kleineren Gruppen wird die Festigkeit nachweisbar geringer. Für längere Reihen wird das Maximum der Festigkeit wahrscheinlich erst bei einer Anzahl kontinuierlicher Wiederholungen erreicht, deren Größe mit der Länge der Reihe anwächst [1]).

Die Versuchsergebnisse bestätigen also hier die oben (S. 575) erwähnten Resultate des Alltagslebens; die Erklärung der Sache ist aber nicht leicht. Wir sahen S. 572, daß die erste Lesung einer Reihe eine relativ größere Wirkung hat als jede der folgenden. Nehmen wir an, daß eine Wiederholung nach einer Pause passender Länge ungefähr dieselbe Wirkung wie die erste Lesung habe, so wird es verständlich, daß eine Verteilung der Wiederholungen zweckmäßiger als ihre Kumulation ist. Es wäre aber hiernach zu erwarten, daß die möglichst große Verteilung, wo eine Pause nach jeder Lesung eingeschaltet wird, die zweckmäßigste sei, was aber nicht richtig ist. Wie es sich hiermit verhält, läßt sich zurzeit nicht entscheiden, da die nötigen Untersuchungen noch fehlen.

Erschwerung der Verknüpfungen. Bisher betrachteten wir ausschließlich die Bildung von Assoziationen zwischen isolierten Vorstellungen, die mit anderen Vorstellungen vorher nicht ver-

[1]) Lehmann: Psychodynamik, S. 329 u. f.

knüpft waren. Dies war notwendig, um die Komplikationen zu vermeiden, die eine bereits bestehende Assoziation bei der Bildung einer neuen Verbindung verursacht. Wir versuchen jetzt nachzuweisen, worin diese Komplikationen bestehen. Nehmen wir daher an, die Assoziation *A*, *B*, *C*, ... *N* besitze in einem gegebenen Moment eine gewisse Festigkeit. Wir wünschen nun die Assoziation *a*, *B*, *c*, ... *n* herzustellen; es sei das Glied *B* den beiden Reihen gemeinsam, während sie sonst aus verschiedenen Vorstellungen bestehen. Der Umstand, daß *B* schon mit *C*, *D*, ... assoziiert ist, wird nun offenbar drei verschiedene Wirkungen herbeiführen, die sämtlich die direkte Folge davon sind, daß die von *B* ausgehende Bahnung, wenn die neue Reihe gelesen wird, sich zum Teil längs der Leitungsbahnen *C*, *D*, . . . fortpflanzt. Erstens nimmt hierdurch die Festigkeit der ursprünglichen Assoziation etwas zu. Ob die Glieder *C*, *D* usw. über die Schwelle des Bewußtseins erhoben werden, wird teils von der Festigkeit der Assoziation, teils von der Stärke des eventuell bestehenden Nachbildes abhängig sein; jedenfalls wird aber die Assoziation fester. Je größer die Festigkeit der schon bestehenden Assoziation ist, mit um so größerer Stärke muß sich die Bewegung längs der alten Bahnen fortpflanzen, was zweitens zur Folge hat, daß die neue Assoziation schwieriger zustande kommt. Es wird daher unter diesen Umständen eine größere Anzahl Wiederholungen erforderlich, um der neuen Assoziation eine solche Festigkeit zu geben, daß sie sich reproduzieren läßt. Ist dies aber erreicht, so wird der Reproduktion drittens dadurch eine besondere Schwierigkeit entstehen, daß *B* ebensowohl *C* als *c* reproduzieren kann. Daß alle diese Wirkungen tatsächlich vorkommen, haben Müller und Pilzecker durch Versuche dargetan [1]).

Es würde zu weit führen, hier auf die Wirkungen bereits bestehender Assoziationen näher einzugehen; uns genügt es, beispielsweise die Wirkungen in einem verhältnismäßig einfachen Falle nachgewiesen zu haben. Wir ersehen hieraus, teils daß die Theorie dieselben zu erklären vermag, teils daß die Verhältnisse äußerst kompliziert werden müssen, wenn mehrere Assoziationsreihen sich gegenseitig an mehreren Punkten kreuzen, was eben mit den Assoziationen des täg-

[1]) Experimentelle Beiträge zur Lehre vom Gedächtnis. Leipzig 1900. S. 134 u. f.

lichen Lebens der Fall ist. Eben deshalb läßt es sich kaum je im voraus entscheiden, welche Vorstellung von einer gegegebenen reproduziert werden wird.

Neunundsechzigstes Kapitel.

Die motorische Verknüpfung.

Es wurde oben (S. 456) erwähnt, daß die Verknüpfung zwischen einer Vorstellung und der Innervation einer bestimmten Muskelbewegung auf dieselbe Weise wie die Assoziation zweier Vorstellungen nicht zustande kommen kann; wir ließen es aber dahingestellt, wie eine solche Verknüpfung sich dann herstellen läßt. Diesen Nachweis zu führen, wird jetzt unsere Aufgabe. Bei jedem neugeborenen, normalen Kinde können zwar fast alle willkürlichen Muskeln in Tätigkeit versetzt werden, das Kind ist aber durchaus nicht dieser Bewegungen Herr. Einige Bewegungen, am häufigsten Beugungen und Streckungen der Glieder, sind ebenso wie vor der Geburt *impulsiver* Natur, d. h. sie treten ohne äußere Veranlassung und daher wahrscheinlich wegen innerer Reizung der motorischen Zentren ein und sind dem Anscheine nach zwecklos. Ferner werden reflektorische und instinktive Bewegungen durch Tast-, Schall- und Lichtreize ausgelöst; willkürlich, ohne die betreffenden äußeren oder inneren Reize, können diese Bewegungen aber nicht ausgeführt werden. Am fünften Tage hält der Säugling schon z. B. einen Bleistift, der ihm in die Hand gelegt wird, fest, und seine Hände und Arme können zufällig recht verwickelte Bewegungen ausführen; noch im fünften Monat macht es dem Kinde aber viel Mühe, z. B. ein ihm in die Hand gestecktes Stückchen Brot in den Mund zu führen. Weil eine Bewegung zufällig zustande kommen kann, läßt sie sich also noch gar nicht willkürlich zustande bringen. In dieser Beziehung ist übrigens kein großer Unterschied zwischen dem Kinde und den Jungen der höchststehenden Tiere. Der im Zoologischen Garten zu Kopenhagen geborene Elefant Kasper konnte im ersten halben Lebensjahre die Bewegungen seines Rüssels gar nicht beherrschen. Sehr oft gelang es ihm, den Rüssel so ins Gitterwerk seines Käfigs zu verwickeln, daß er ihn nicht ohne Hilfe wieder losmachen konnte. Im vierten Monat sah ich, wie er sich vergebens bemühte, ein Büschel Heu, das er mit dem Rüssel gefaßt hatte,

in den Mund zu führen. Er bog den Rüssel in die Höhe, so daß er das Heu vor Augen hatte, und suchte den Mund dem Heu zu nähern, indem er immer mehr die Hinterbeine beugte, bis er schließlich rückwärts purzelte. Zufällig geriet der Rüssel aber oft in den Mund.

Wenn das Kind und der junge Elefant sich bemühen, etwas in den Mund zu bringen, so müssen sie eine Vorstellung von dieser Bewegung haben; denn hätten sie dieselbe nie erlebt, würde es ihnen kaum je einfallen, einen solchen Versuch zu machen. Nun haben sie aber öfter die Bewegung gesehen, wenn die Hand oder der Rüssel impulsiv oder reflektorisch an den Mund kam. Es besteht also zweifellos ein Gesichtsbild der Bewegung; und daß dieses Bild für die willkürliche Ausführung der Bewegung nicht ohne Bedeutung ist, geht daraus hervor, daß kleine Kinder oft die bewegten Gliedmassen aufmerksam betrachten, besonders wenn eine versuchte Bewegung mißlingt[1]). Gleichzeitig mit dem Gesichtsbilde hat das Kind indes auch kinästhetische Empfindungen, und wir wissen, daß die Reproduktion dieser Bewegungserinnerungsbilder die betreffenden Bewegungen auslöst (S. 475). Es kann sich also nur darum handeln, eine feste Verknüpfung zwischen dem optischen und dem motorischen Erinnerungsbilde zustande zu bringen. Ist diese Assoziation gebildet, ist die Möglichkeit einer willkürlichen Bewegung gegeben. Indem nämlich irgendein Ding, das ihm in die Hand geriet, bei darauf gelenkter Aufmerksamkeit das Gesichtsbild von der Bewegung zu dem Munde reproduziert, werden hiermit auch die motorischen Zentren erregt und die Bewegung ausgeführt. Diese notwendige Verbindung der optischen und der motorischen Bilder findet nun eben dadurch statt, daß die beiden Gruppen von Empfindungen immer gleichzeitig gegeben sind, wenn die Bewegung zufällig zustande kommt. Ein solches gelegentliches Zusammentreffen der beiden Empfindungsgruppen bildet jedenfalls den Anfang, und wenn das Kind sich dann bemüht, die Bewegung auszuführen, werden die glücklichen Fälle immer zahlreicher und die Verknüpfung mithin immer fester, bis die Bewegung sich schließlich sicher ausführen läßt.

Durch Versuche hat man sich davon überzeugt, daß selbst der Erwachsene keine Muskelbewegung ausführen kann, die nicht erst zufällig zustande gekommen ist, so daß eine

---

[1]) Preyer: Die Seele des Kindes. Leipzig 1884. S. 182 u. f.

Empfindung der betreffenden Bewegung erregt und mit anderen Empfindungen verknüpft worden ist. Nur wenige Menschen können die Muskeln, die die äußeren Ohren zurückziehen, in Bewegung setzen, obgleich die Bewegungsnerven vorhanden sind. Bair forderte eine Anzahl Studierende, die diese Fähigkeit nicht besaßen, auf, die Bewegungen auszuführen, was sich aber als unmöglich erwies. Nur zufällig traten die Bewegungen dann und wann ein, wenn die Brauen stark gehoben und die Zähne zusammengebissen wurden. Bei der Wiederholung solcher Bewegungen erhielten die Versuchspersonen immer deutlichere Empfindungen der Ohrenbewegungen, die sich mit den Empfindungen der übrigen Muskelbewegungen assoziierten. Als diese Verknüpfung erreicht war, konnten sie die Ohren willkürlich gleichzeitig mit den Brauen bewegen. Indem sie ferner ihre Aufmerksamkeit speziell auf die Empfindungen der Ohrenbewegungen lenkten, gelang es ihnen nach und nach durch fortgesetzte Übung, die Ohren ohne Mitbewegung der übrigen Gesichtsteile zurückzuziehen[1]. Es geht also hieraus zweifellos hervor, daß *die willkürliche Bewegung einer Muskelgruppe nur möglich wird, wenn man durch die zufällig zustande gekommene Bewegung die Empfindung derselben erhalten und mit anderen Empfindungen verknüpft hat.*

Wenn eine Bewegung *A* auf die eben angegebene Weise mit einer bestimmten Empfindung oder Vorstellung *B* verknüpft worden ist, kann die Bewegung auf irgendeine äußere oder innere Veranlassung *C* willkürlich ausgeführt werden, indem die Aufmerksamkeit auf die Empfindung *B* gerichtet wird, die mit der Bewegung *A* verknüpft ist. Führt *C* dann häufig *A* herbei, kann sich nach und nach eine direkte Verknüpfung zwischen *C* und *A* bilden, so daß die Bewegung ohne das Mittelglied *B* von *C* ausgelöst werden kann. So gelang es z. B. den Versuchspersonen Bairs auf Aufforderung, die Ohren ohne gleichzeitige Bewegungen der Stirnhaut zurückzuziehen. Jede solche Ausschaltung eines Mittelgliedes kommt auf die Weise zustande, daß man, indem *C* gegeben wird, die Aufmerksamkeit auf die Empfindung der Bewegung *A* lenkt. Hierdurch werden dann *C* und *A* direkt verknüpft, was indes eine nicht geringe Übung erfordert, wahrscheinlich weil die Nervenerregung hauptsächlich die fahrbarere Bahn über

---

[1]) Development of voluntary control. Psych. Review, Bd. 8, S. 474 u. f.

B einschlägt, so daß die neue Leitungsbahn nur wenig angebahnt wird. Selbst wenn es sich um ganz einfache Bewegungen handelt, z. B. das Heben eines Fingers auf ein gegebenes Signal, ist eine sehr große Anzahl Wiederholungen erforderlich, um die möglichst große Sicherheit und Schnelligkeit der Bewegung zu erreichen.

Die Richtigkeit der hier gegebenen Darstellung läßt sich auf zweifache Weise durch Versuche dartun, indem man einfache Bewegungen auf gegebene Signale einübt. Wenn die Versuchspersonen nach jedem einzelnen Versuch den Bewußtseinszustand zwischen dem Signal und der Bewegung angeben, konstatiert man erstens leicht, daß der Zustand sich immer mehr vereinfacht, indem Mittelglieder, die anfangs bewußt sind, nach und nach ausfallen. Zweitens zeigt dementsprechend die gemessene Reaktionszeit, d. h. die Zeit vom Erscheinen des Signals ab bis zur ausgeführten Bewegung, eine wesentliche Verkürzung, wenn eine neue Vereinfachung des Bewußtseinszustandes erreicht worden ist.

Die angeführten Tatsachen haben sich als Resultate der folgenden Versuche ergeben. Als Objekte dienten zirkuläre farbige Felder, 12 mm in Diameter, auf grauem Hintergrunde; die Hälfte einer Serie von 20 Karten hatte rote und gelbe, die andere Hälfte grüne und blaue Felder. Die Karten wurden mittels des Catell'schen Fallapparates in zufälliger Ordnung exponiert, und die Reaktionszeit mittels eines Pendelchronoskops gemessen, das geräuschlos und genauer als das Hippsche Chronoskop arbeitet und viel einfacher zu bedienen ist. Obwohl das Pendelchronoskop Tausendstelsekunden angibt, wurde die Zeit nur mit einer Genauigkeit von 0,01 Sek. abgelesen, weil es keinen Zweck hat, die einzelnen Bestimmungen mit einer Genauigkeit auszuführen, die 100 mal größer ist als die zufälligen Schwankungen der gemessenen Größe. — Nachdem die Versuchsperson „fertig“ gemeldet hatte, sagte der Versuchsleiter „nun“, und etwa 1 Sek. später erschien das Objekt. Reagiert wurde auf die Weise, daß mit den Daumen je ein Reaktionstaster niedergedrückt wurde; in den Hauptversuchen reagierte die Vp. auf Rot und Gelb mit der linken, auf Grün und Blau mit der rechten Hand (sogenannte Reaktion mit zweifacher Zuordnung). Wenn eine Serie von 20 Karten exponiert war, wechselten die Versuchsperson und der Versuchsleiter ihre Rollen. Vier Versuchspersonen, von welchen drei in Reaktionsversuchen ungeübt waren, beteiligten sich an diesen Messungen; im folgenden gebe ich der Kürze halber nur meine eigenen Bestimmungen und die wesentlichsten individuellen Differenzen wieder; ich werde übrigens später die Versuche in extenso veröffentlichen.

Einen Überblick über die gewonnenen Resultate gibt die Fig. 69, wo als Abszisse die Zeit in Tausendstelsekunden, als

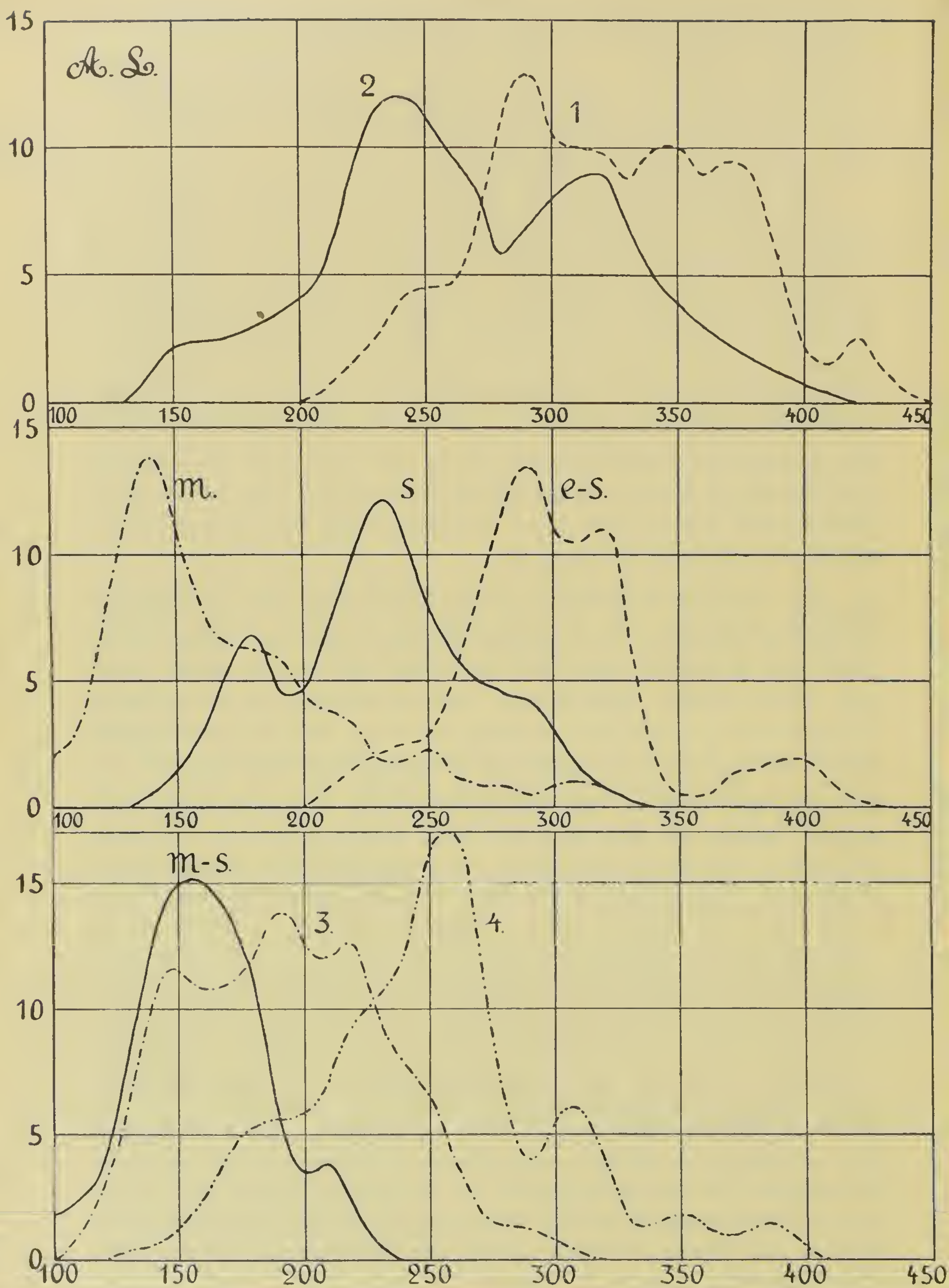


Fig. 69.

Ordinate die Häufigkeit, mit der die betreffende Zeit gemessen wurde, abgesetzt ist. Die Kurve *1* umfaßt die ersten 150, die Kurve *2* die darauf folgenden 150 richtigen Reaktionen, indem die Reaktionen, die mit der betreffenden Hand nicht ausgeführt wurden, auch nicht mitgerechnet sind. Die falschen Reaktionen machten bei allen Versuchspersonen etwa 10 % der gesamten Anzahl aus, anfangs etwas mehr, später etwas weniger. Sämtliche Kurven der Fig. 69 sind nur einmal ausgeglichen, um zufällige Schwankungen, die nur die Übersicht erschweren, auszuschalten.

Vergleichen wir die Kurven *1* und *2*, so finden wir, daß die Reaktionszeit mit wachsender Übung, wenn man auf eine möglichst schnelle Reaktion abzielt, auf die Weise abnimmt, daß die langen Zeiten 340^σ—380^σ fast vollständig verschwinden, während gleichzeitig die kürzeren Zeiten, um 240^σ, die anfangs nur selten vorkamen, bedeutend zahlreicher werden. Die Reaktionen mittlerer Länge, 290^σ—320^σ, kommen in fast unveränderter Anzahl vor.

Die Selbstbeobachtung zeigte ferner, daß die Zeiten um 300^σ solchen Reaktionen entsprechen, wo sich ein Wort, der Name der Farbe od. dgl., zwischen das Gesichtsbild und die Bewegung einschiebt. Je nachdem diese Vorstellung mehr oder weniger deutlich hervortritt, wird die Reaktionszeit länger oder kürzer, und die Kurven haben daher ein entsprechendes Maximum zwischen 290^σ und 320^σ. Bei den um 240^σ liegenden Zeiten ist der Name ausgeschaltet; das Gesichtsbild löst unmittelbar die Reaktion aus[1]). Bei den sehr langen Zeiten, die eigentlich nur im ersten Viertel der Versuche vorkamen, war entweder ein Zögern merklich, indem der Farbenname die Bewegung nicht sofort auslöste, oder es wurde noch der Name der reagierenden Hand reproduziert (bei den Reaktionen um 420^σ).

Nach einiger Übung gelang es sämtlichen Versuchspersonen, diese Selbstbeobachtungen mit großer Sicherheit auszuführen, so daß sie recht genau wußten, welche Bewußtseinserscheinungen sich zwischen die Wahrnehmung und die Reaktion eingeschaltet hatten. Da ihnen übrigens nach jedem einzelnen Versuche die Reaktionszeit mitgeteilt wurde, assoziierte sich bald die Vorstellung von der Zeitdauer mit den verschiedenen mehr oder minder komplizierten Bewußtseinszuständen, und sie waren dann ferner imstande, die Länge der Reaktionszeit mit der erstaunlichen Genauigkeit von

---

[1]) Diese Beobachtung findet sich schon bei Ach: „Willenstätigkeit und Denken". Göttingen 1905. S. 146.

etwa 20^{σ} anzugeben. Sobald diese Fähigkeit der absoluten Zeitschätzung erreicht worden war, beschränkten sie die Selbstbeobachtung auf die Angabe der Zeit, was eine größere Anzahl Einzelbeobachtungen ermöglichte. Selbstverständlich war das Chronoskop vom Platze der Versuchsperson aus unsichtbar.

Unsere Versuche bestätigen also durchaus das oben angegebene Resultat, daß *eine Bewegung, die anfangs nur durch ein Mittelglied ausgelöst werden kann, bei wachsender Übung schließlich direkt erregt wird, wenn man dies zu erreichen sucht.*

Daß die Reaktionszeit wirklich, wie erwähnt, durch den jeweiligen Bewußtseinszustand bestimmt ist, läßt sich ferner einfach auf die Weise dartun, daß die Versuchsperson sich willkürlich auf die eine oder die andere Reaktionsform einstellt und ohne Rücksicht auf die Art des Reizes mit derselben Hand reagiert (Reaktion mit einfacher Zuordnung). Wenn man die Aufmerksamkeit ausschließlich auf den Reiz lenkt und die Reaktion durch denselben ohne bewußtes Mittelglied auslösen läßt, liegt die sogenannte *sensorielle* Reaktionsform vor. Schaltet man dagegen, bei derselben Richtung der Aufmerksamkeit, einen Namen oder ähnliche Bestimmungen ein, die dann die Bewegung auslösen, so wird die Reaktion *extrem sensoriell.* Schließlich kann man auch die Aufmerksamkeit auf die auszulösende Bewegung lenken, die dann zustande kommt, sobald der Reiz überhaupt merklich geworden ist; diese Reaktionsform wird, als die *motorische* bezeichnet. Von der Länge der letzteren soll bald unten die Rede sein; dem oben Angeführten zufolge steht augenscheinlich zu erwarten, daß die sensorielle Reaktion den Zeiten um 240^{σ}, die extremsensorielle denjenigen um 290^{σ}—320^{σ} entspricht. Je besser es der Versuchsperson gelingt, sich in den einen oder den anderen Zustand willkürlich zu versetzen, um so dichter müssen die erhaltenen Reaktionszeiten sich um diese Werte scharen.

Die Resultate der Bestimmungen sind in der Fig. 69 durch die Kurven *m*, *s* und *e-s* dargestellt. Von jeder Reaktionsform wurden 100 Messungen gemacht; die Versuchspersonen konnten in jedem einzelnen Falle angeben, ob die gewünschte Einstellung gelungen war oder nicht; es sind aber hier sämtliche Versuche, sowohl die mißlungenen als die fehlerfreien, mitgenommen, um zu zeigen, wie sicher die Einstellung sich zustande bringen läßt. Die Kurven *s* und *e-s* stimmen, wie ersichtlich, genau mit den Maxima der Kurven *1* und *2* überein, so daß es keinem Zweifel unterliegt, daß die zwei verschiedenen Re-

aktionsarten hier vorliegen. Die Kurve *s* zeigt übrigens ein partielles Maximum um 180$^\sigma$, wovon eine Spur sich findet sowohl in der Kurve *2* als in der Kurve *m*, deren Maximum um 140$^\sigma$ liegt. Diese letztere Zeit entspricht, der Selbstbeobachtung zufolge, der motorischen Reaktionsform, während die Zeit 180$^\sigma$ wahrscheinlich als eine Zwischenstufe zwischen der sensoriellen und der motorischen Reaktion aufzufassen ist, die dadurch entsteht, daß die Aufmerksamkeit teilweise auf den Reiz, teilweise auf die auszuführende Bewegung gelenkt wird. Um die Richtigkeit dieser Erklärung zu prüfen, wurde es versucht, willkürlich auf eine solche Reaktionsart einzustellen. Diese Versuche wurden genau wie die speziell motorischen, sensoriellen und extrem-sensoriellen Reaktionen ausgeführt, indem ohne Rücksicht auf die exponierte Farbe nur mit einer Hand reagiert wurde. Die Kurve *m-s* (Fig. 69) stellt das Ergebnis dar und zeigt, wie zu erwarten war, daß eine konstante Teilung der Aufmerksamkeit sich nicht durchführen läßt; es resultiert ein Gemisch von rein motorischen und allerlei Formen der sensoriell-motorischen Reaktionen.

Unsere Versuche zeigen also, daß es verschiedene Übergangsstufen gibt zwischen der motorischen Reaktion von etwa 140$^\sigma$ Dauer, wo man eigentlich nur auf eine Veränderung reagiert, und der sensoriellen Reaktion, die nach dem Wiedererkennen der Empfindung stattfindet. Solche muskulär-sensoriellen Reaktionen müssen dann auch ausgeführt werden können, wenn verschiedene Reize gegeben sind, die mit verschiedenen Bewegungen beantwortet werden sollen, d. h. wenn Reaktionen mit zweifacher Zuordnung ausgeführt werden. Rein motorische Reaktionen sind in diesem Falle ausgeschlossen, weil die Reaktion selbstverständlich der Empfindung nicht entsprechen kann, wenn die Empfindung nicht wiedererkannt ist. Durch teilweise motorische Einstellung muß es dagegen möglich sein, eine hauptsächlich sensorielle Reaktion auszuführen, die nur durch die Vorbereitung der Bewegung verkürzt wird. Dies findet denn auch tatsächlich statt. Die Kurve *3* ist bei motorisch-sensorieller Einstellung genau wie die Kurven *1* und *2* gewonnen, indem auf Rot und Gelb mit der linken, auf Grün und Blau mit der rechten Hand reagiert wurde. Fast sämtliche Bestimmungen fallen hier zwischen 145$^\sigma$ und 220$^\sigma$. Natürlich kommt bei solchen Reaktionen, die eine sehr feste Verknüpfung zwischen Reiz und Bewegungen erheischen, eine relativ große Anzahl (um 20 %) falsche Reaktionen vor. Ver-

gleichen wir aber die Kurve *3*, die nur die mit der verabredeten Bewegung ausgeführten Reaktionen umfaßt, mit den Kurven *1* und *2*, so finden wir, daß *mit wachsender Übung eine erhebliche Verkürzung der Reaktionen mit mehrfacher Zuordnung stattfinden kann, indem zuvörderst Mittelglieder zwischen Reiz und Bewegung ausgeschaltet und darauf eine motorische Reaktionsweise eingeübt werden.*

Individuelle Differenzen von Bedeutung haben sich bei diesen Versuchen überhaupt nicht finden lassen. Die muskuläre Reaktionszeit der vier Versuchspersonen ist im Mittel 136 $\pm$ 5$^\sigma$, die sensorielle 237 $\pm$ 6$^\sigma$ und die extrem-sensorielle 302 $\pm$ 21$^\sigma$ [1]). Dagegen sind die Werte der Reaktionszeiten zweifellos von dem Sinnesgebiete abhängig, das gereizt wird; bei akustischen und taktilen sind sie kleiner als bei optischen Reizen. Wie groß die Werte sind, läßt sich indes nicht genau angeben, da man bisher die Reaktionszeiten nur als arithmetische Mittelwerte berechnet hat, was durchaus unzulässig ist. Der mittlere Wert hat nämlich nur dann einen Sinn, wenn es sich um wiederholte Messungen derselben Größe handelt; unsere mehrgipfeligen Streuungskurven (Fig. 69) zeigen aber, daß tatsächlich immer verschiedenartige Reaktionszeiten trotz der versuchten gleichartigen Einstellung gemessen werden. Die Mittelwerte solcher Messungen sind also sinnlos, was dem Herrn Deuchler gar nicht in den Sinn gekommen zu sein scheint [2]).

Nach dem Abschluß der der Kurve *3* zugrunde liegenden Versuche war die Verknüpfung zwischen Rot, Gelb und links einerseits, Grün, Blau und rechts andererseits möglichst fest. Wir versuchten dann die Assoziation umzukehren, so daß auf Rot und Gelb mit der rechten, auf Grün und Blau mit der linken Hand reagiert wurde. Das sonderbare Resultat ist durch die Kurve *4* dargestellt. Es wäre wohl im voraus zu erwarten, daß die einmal zuwege gebrachte Verknüpfung sich der neuen widersetzt hätte, so daß man anfangs sehr lange Zeiten erhalten würde. Die Kurve zeigt, daß die Versuchsperson ein Gemisch von sensoriellen und extrem-sensoriellen Reaktionen erhalten hat, die um 260$^\sigma$ schwanken. Hieraus geht hervor: *Wenn verschiedene Bewegungen mit je einer Empfindung verknüpft worden sind, können neue Kombinationen dieser Bewegungen und Empfindungen relativ leicht hergestellt werden.* Dies läßt sich

---

[1]) Hiermit haben die Ergebnisse der Messungen Buchs (Lehmann: Psychol. Methodik, S. 117) ihre Erklärung gefunden. Diese Versuche führten konstant zu den Zahlen 235$^\sigma$ und 280$^\sigma$, die mithin als sensorielle resp. extrem-sensorielle Reaktionen anzusehen sind.

[2]) Beiträge zur Erforschung der Reaktionsformen. Psychol. Stud. Bd. 4, 1908. S. 400 u. f.

wohl am einfachsten auf die Weise erklären, daß es besonders die Herstellung der direkten Leitungsbahnen zwischen den betreffenden optischen und motorischen Neuronen ist, die die große Übung erheischt. Wenn diese direkten Nervenbahnen einmal funktionsfähig geworden sind, kann ein Umschalten der sich fortpflanzenden Bewegung relativ leicht stattfinden.

Siebzigstes Kapitel.

Vergessen und Verdrängen.

Wenn eine Reihe assoziierter Vorstellungen eben reproduziert werden kann, tragen hierzu, wie wir gesehen haben (S. 569), zwei Umstände bei, nämlich erstens die Leitungsfähigkeit der Nervenbahnen zwischen den betreffenden Neuronengruppen und zweitens die zentralen Nachbilder der assoziierten Wahrnehmungen. Die Nachbilder klingen relativ schnell ab, und damit erlischt auch die Möglichkeit der fehlerfreien Reproduktion: kaum eine Minute nach dem Hersagen läßt sich eine assoziierte Reihe selten nochmals ohne Fehler reproduzieren. Aber selbst wenn die Nachbilder völlig abgeklungen sind, besteht noch die durch das Erlernen erworbene Leitungsfähigkeit der Nervenbahnen, die, wie wir sehen werden, sich einerseits äußerst langsam verändert und andererseits zwar keine unmittelbare Reproduktion ermöglicht, jedoch das Wiedererlernen sehr erleichtert. Wenn das Erlernte aber gar nicht wieder aufgefrischt wird, lockert sich nach und nach die Assoziation der Vorstellungen, und das Erlernte wird vergessen.

Je größer die Festigkeit einer Assoziation zu irgendeinem Zeitpunkte ist, um so geringer wird augenscheinlich die zum Wiedererlernen des Stoffes erforderliche Anzahl Wiederholungen sein. Als Maß der übriggebliebenen Festigkeit kann man daher nach Ebbinghaus die „Ersparnis“ gebrauchen[1]). Es seien G die Anzahl der Wiederholungen, die beim Neuerlernen zur ersten fehlerfreien Reproduktion erforderlich war, und g die Zahl der zum Wiedererlernen an einem späteren Zeitpunkte ausreichenden, dann ist $G-g$ die gesparte Anzahl, und als Maß der noch bestehenden Festigkeit können wir $\frac{G-g}{G}$, den Bruchteil der ursprünglichen Anzahl Wiederholungen, nehmen, der zu einer beliebigen Zeit erspart wird.

[1]) Über das Gedächtnis, S 93, 103.

In der Fig. 70 sind die Resultate der Ebbinghaus'schen Messungen graphisch dargestellt, indem als Abszisse die seit dem ersten Erlernen verflossene Zeit in Stunden, als Ordinate die Ersparnis in Prozenten abgesetzt ist. Die Figur gibt nur die Verhältnisse der ersten 15 Stunden wieder; in dem folgenden Monat (729 Stunden) sinkt die Ersparnis nur von 34 bis auf 21 %.

Aus der Fig. 70 ist ersichtlich, daß die Festigkeit der Assoziation in den ersten 20 Minuten nach dem Erlernen mehr abnimmt als in der folgenden Zeit. Hierdurch wird die Vermutung nahe gelegt, daß die erste starke Abnahme eben von dem Abklingen der zentralen Nachbilder herrührt. Wenn diese abgeklungen sind, kann die Festigkeit der Assoziation ferner nur dadurch abnehmen, daß die beim Erlernen

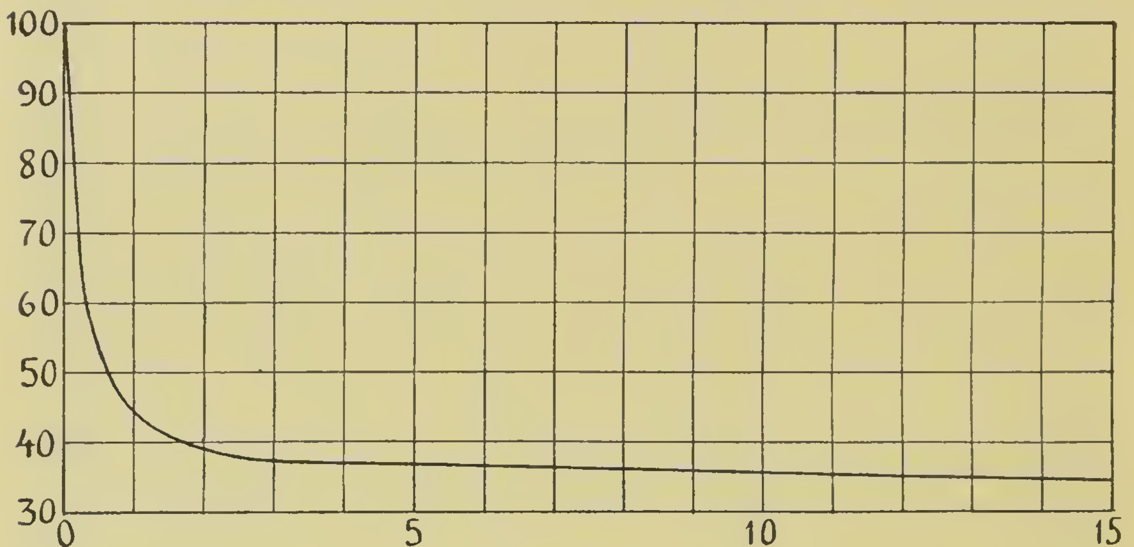


Fig. 70.

erworbene Leitungsfähigkeit der Nervenbahnen wieder aufgehoben wird, was wohl langsam vonstatten geht. Daß es sich aller Wahrscheinlichkeit nach so verhält, werden wir im folgenden sehen, wo das Vergessen, die Lockerung der Assoziationen, von verschiedenen Seiten beleuchtet werden soll.

Bisher war ausschließlich vom Verhältnis der Vorstellungsassoziationen die Rede; die motorischen Verknüpfungen verhalten sich aber in allem Wesentlichen auf analoge Weise. Motorische Assoziationen sind erworbene körperliche Fertigkeiten, und diese können, wie die Erfahrung lehrt, nur durch häufige Übung zur äußersten Leistungsfähigkeit gebracht werden. Unmittelbar nach einigen Wiederholungen einer solchen Bewegung, wenn die Muskeln noch nicht ermüdet sind, hat die Assoziation ihre größte Festigkeit, die mit der Zeit fortwährend abnimmt, wenn sie nicht wiederholt wird. Dieses Sinken der

Fertigkeit verläuft eben, wie die Fig. 70 es darstellt, anfangs sehr schnell, später immer langsamer, so daß eine einmal erworbene Fertigkeit tatsächlich nie völlig verlernt wird.

Außer der Methode der Ersparnis gibt es noch andere, mittels welcher die Lockerung der Assoziationen mit der Zeit sich untersuchen läßt. Man kann z. B. die Glieder einer erlernten Reihe an einem späteren Zeitpunkte ordnen, wenn sie, auf Papierschnitzel geschrieben, der Versuchsperson in einem Haufen vorgelegt werden (Methode der Ordnung oder Rekonstruktion). Je größer die an einem beliebigen Zeitpunkte noch bestehende Festigkeit der Assoziationen ist, um so mehr Silben können an ihren rechten Platz eingeordnet werden, und auf diese Weise läßt sich aus einer größeren Anzahl Versuchen außerdem ersehen, wie die Lockerung der Assoziation an den verschiedenen Stellen der Reihe fortschreitet.

Die Ergebnisse einer solchen Versuchsreihe[1]) sind in der Fig. 71 graphisch dargestellt. Als Abszisse sind die Ordnungszahlen der Reihenglieder, als Ordinate die an jeder Stelle gefundene (und ausgeglichene) Prozentzahl der richtig geordneten Glieder abgesetzt. Die erwähnten Bestimmungen sind teils 5 Min., teils 20 Min. nach dem beendigten Erlernen ausgeführt, und für jedes dieser Intervalle ist die entsprechende Kurve gezeichnet. Daß die Kurve „*20 Min.*“ durchweg tiefer als die Kurve „*5 Min.*“ liegt, bedeutet einfach, daß die Festigkeit der Assoziation mit der Zeit abnimmt. Ferner ist ersichtlich, daß die beiden Kurven ein Minimum bei der zehnten oder elften Silbe haben; hier lockern sich die Assoziationen also am schnellsten. Wir sahen aber früher (Fig. 68), daß die Festigkeit der Assoziationen bei der Bildung derselben etwas nach der Mitte der Reihe hin am geringsten ist. Es ergibt sich somit, daß, *je geringer die Festigkeit der Verbindung an irgendeiner Stelle einer Reihe ist, um so schneller lockert sich hier die Assoziation.*

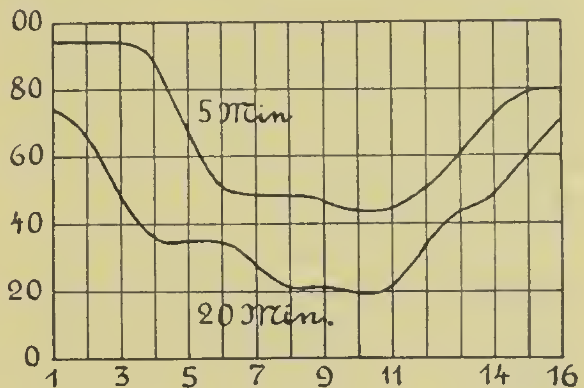


Fig. 71.

Aus den erwähnten Versuchen geht noch ein interessantes

[1]) Lehmann: Psychol. Methodik, S. 110.

Verhältnis hervor. Durchschnittlich wurden 20 Min. nach dem Erlernen 41,7 % richtig geordnete Glieder erhalten; diese Zahl kam aber bei zwei wesentlich verschiedenen Versuchsanordnungen heraus. In der Hälfte der Fälle beschäftigte sich die Versuchsperson in der Zeit zwischen dem Erlernen und der Prüfung ausschließlich mit Zeichnen, das zwar die Aufmerksamkeit völlig in Anspruch nahm, aber die zentralen Nachbilder doch nicht direkt zu stören vermochte. In der anderen Hälfte der Versuche wurde außerdem, 12 Min. nach dem Erlernen der zu prüfenden Reihe, eine neue Reihe auswendig gelernt. Daß hierdurch eine Störung der zentralen Nachbilder stattfindet, geht daraus hervor, daß die ungestörten Reihen 49,0 %, die gestörten dagegen nur 34,5 % richtige Fälle ergaben. Die zentralen Nachbilder waren also noch 12 Min. nach dem Erlernen so lebhaft, daß ihre Störung eine zwar nicht große, aber immerhin nachweisbare Herabsetzung der Festigkeit der Assoziation herbeiführte. Es ist dann jedenfalls wahrscheinlich, daß sie etwa 20—30 Min. nach dem Erlernen so weit abgeklungen sind, daß sie für die fernere Reproduktion keine Bedeutung haben; eben dieses Resultat wurde aber aus der Fig. 70 gefolgert.

Da die Reproduktion der Assoziationen also kurz nach dem Erlernen von zwei verschiedenen Faktoren, dem Nachbilde und der Leitungsfähigkeit der Nervenbahnen, später aber nur von dem letzteren Momente abhängig ist, so wird man für die relative Festigkeit zu verschiedenen Zeiten, je nach der angewandten Untersuchungsmethode, ganz verschiedene Werte erhalten. Die zu irgendeiner Zeit noch bestehende Festigkeit bekundet sich immer dadurch, daß die Reihe mit weniger Arbeit wiedererlernt werden kann, und das natürliche Maß der Festigkeit wird daher das oben festgestellte: der Bruchteil der ursprünglichen Anzahl Wiederholungen, der beim Wiedererlernen gespart wird. Die verschiedenen anderen Untersuchungsmethoden, deren Ergebnisse besonders von der Stärke des Nachbildes abhängig sind, müssen im Vergleich hiermit zu recht abweichenden Resultaten führen. Betrachten wir beispielsweise die sogenannte „Treffermethode“. Nach derselben verfährt man auf die Weise, daß die betonten Silben einer in trochäischem Takte gelesenen Silbenreihe nach Verlauf von kürzerer oder längerer Zeit der Versuchsperson vorgezeigt werden mit der Aufforderung, zu jeder vorgezeigten Silbe die zugehörige unbetonte Silbe, welche ihr in der ge-

lesenen Silbenreihe unmittelbar gefolgt sei, zu nennen[1]). Es wird also nach der Treffermethode die Festigkeit der Assoziation durch die Anzahl der möglichen Reproduktionen bestimmt. Die Reproduktion ist aber, wie wir sahen, in hohem Grade von der Stärke des noch bestehenden Nachbildes abhängig, und es ist daher leicht verständlich, daß diese Methode, kurz nach dem Erlernen angewandt, eine im Vergleich mit der Ersparnismethode relativ sehr große, später dagegen eine relativ viel geringere Festigkeit ergibt[2]).

Beim Erlernen eines gegebenen Stoffes kann man, wie wir gesehen haben, oft mit Vorteil so verfahren, daß der zu erlernende Stoff geteilt wird. Hierdurch entsteht die Möglichkeit, daß einige dieser Teile öfter als andere gelesen werden, wodurch die Festigkeit der Verknüpfung der einzelnen Teile recht verschieden ausfallen kann, und es wird dann auch die an einem beliebigen späteren Zeitpunkte noch bestehende Festigkeit von Teil zu Teil variieren können. Trägt man aber Sorge dafür, daß jede Silbe dieselbe Anzahl Wiederholungen erfährt, muß die Festigkeit der Assoziationen, wenn die Reihe eben reproduziert werden kann, davon unabhängig sein, wie sie erlernt worden ist, und ihre Festigkeit an einem beliebigen späteren Zeitpunkte wird dann ebenfalls nur vom Alter der Assoziation, von der seit dem Erlernen verflossenen Zeit abhängig. Wir kommen somit zu dem Satze: *Zwei Assoziationen, die an einem gegebenen Zeitpunkt dasselbe Alter und dieselbe Festigkeit haben, werden auch um jeden späteren Zeitpunkt dieselbe Festigkeit haben, unabhängig davon, wie sie zustande gebracht sind.* Es wurde oben (S. 577) ein experimenteller Beweis hierfür erbracht.

So interessant die Ergebnisse der Versuche mit sinnlosen Silbenreihen an und für sich sein mögen, so wenig treten dadurch die Eigentümlichkeiten des Gedächtnisses hervor, mit welchen wir im täglichen Leben zu rechnen haben. Eine sinnlose Silbenreihe kann nämlich bald nach dem Erlernen ohne Wiedererlernen überhaupt nicht mehr reproduziert werden; ein sinnvoller Stoff dagegen, z. B. die Wahrnehmung einer Reihe von Ereignissen, wird selten oder jedenfalls erst spät so vollständig vergessen, daß sich gar nichts reproduzieren läßt. Da solche Assoziationen sich aber wie die sinnlosen mit der Zeit lockern, so entsteht die Frage: Welchen Veränderungen

---

[1]) Müller und Pilzecker: Zur Lehre vom Gedächtnis. 1900. S. 1—2.
[2]) Jost, Zeitschr. für Psychol. Bd. 14, S. 463 u. f.

unterliegen die reproduzierten Vorstellungen durch diese Lockerung? Die Selbstbeobachtung in Verbindung mit Experimenten besonderer Art, auf die wir nicht näher eingehen können [1]), hat gewisse für unsere Gedächtnisleistungen charakteristische Veränderungen festgestellt, die hier kurz erwähnt werden sollen.

Im Gedächtnis haften nur die Glieder einer Reihe von Ereignissen, auf die unsere Aufmerksamkeit besonders gerichtet gewesen ist. Die Richtung der Aufmerksamkeit kann aber sowohl willkürlich, durch ein von innen gegebenes, als unwillkürlich, durch ein von dem Beobachteten hervorgerufenes Beachtungsmotiv, bestimmt sein. Da ein solches von außen gegebenes Beachtungsmotiv fast immer stark gefühlsbetont sein wird, kann man also sagen, daß besonders diejenigen Glieder eines Ereignisses erinnert werden, auf die wir unsere Aufmerksamkeit lenken, oder die starke Gefühle erregen. Da aber Gemütsbewegungen der ruhigen, unbefangenen Beobachtung keineswegs günstig sind, so werden zwar die von Affekten begleiteten Ereignisse im Gedächtnis fest haften, die Einzelheiten dieser Erlebnisse sind aber fast nie genau beobachtet. Die erste Bedingung einer genauen Erinnerung wird die sein, daß man als ruhiger Beobachter den Erlebnissen gegenüber steht. Dies reicht aber auch nicht hin, wenn es sich darum handelt, später die wesentlichen Einzelheiten eines Ereignisses wiedergeben zu können. Hierzu ist eigentlich erforderlich, daß man im voraus weiß, was wesentlich und was unwesentlich sein wird; denn nur unter dieser Bedingung wird es möglich, seine Aufmerksamkeit auf das Hauptsächliche zu lenken. Bei solchen komplizierten Ereignissen des täglichen Lebens, die sich weder vorhersehen noch wiederholen lassen, werden daher die Referate der Beobachter und noch mehr die der sich beteiligenden Personen immer falsch.

Indem also meistens sowohl wesentliche als unwesentliche Glieder einer Reihe von Ereignissen aus dem Gedächtnis schwinden können, wird ein Referat nach dem Gedächtnis besonders in zwei Beziehungen vom tatsächlichen Verlauf abweichen. *Erstens wird in der Erinnerung die Reihenfolge der Glieder leicht vertauscht,* eben weil wir nicht sämtliche Glieder reproduzieren können und daher teilweise die Reihenfolge

[1]) Lehmannn: Aberglaube und Zauberei. 2. Aufl. 1908. S. 402, 413 u. f.

der erinnerten konstruieren müssen. *Zweitens können in einer Reihe von Ereignissen zwei Vorfälle, die einander ähnlich sind, leicht miteinander verwechselt und vermischt werden, so daß sie schließlich oft ganz verschmelzen.* Diese Tatsache ist, wie leicht ersichtlich, eine einfache Folge des Gesetzes von der gegenseitigen Vertretung einander ähnlicher Vorstellungen. Was tatsächlich nach dem einen Vorfall folgte, wird in der Erinnerung von dem anderen reproduziert, so daß die beiden Ereignisse zu einem unentwirrbaren Gemisch zusammenlaufen.

Das Verdrängen. Das Vergessen ist eine durchaus unwillkürliche Erscheinung, die sich auf irgendeine Weise überhaupt nicht willkürlich beschleunigen läßt. Und eben solche unangenehmen Erlebnisse, die wir am liebsten vergessen wollen, haften wegen ihrer Gefühlsbetonung ungemein fest im Gedächtnis. Man kann indes einer derartigen Erinnerung auf die Weise ausweichen, daß man, sobald die Erinnerung auftaucht, seine Aufmerksamkeit auf etwas Anderes lenkt. Bei der Wiederholung geht ein solches Ausweichen einer unangenehmen Erinnerung immer leichter, so daß man sich der Erinnerung schließlich überhaupt nicht bewußt wird; sie ist dann „verdrängt". Vergessen ist sie aber nicht; es besteht noch die Leitungsfähigkeit der Nervenbahnen, worauf ihre Reproduktion beruht, es ist aber ein anderes System von Nervenleitungen so eingeübt, daß es jede sich fortpflanzende Bewegung von dem verdrängten Komplex ablenkt. Weil diese Vorstellungen aber nicht vergessen, sondern eben nur verdrängt sind, beeinflussen sie auf verschiedene Weise das Bewußtseinsleben. Hat z. B. eine Vorstellung die Tendenz, einen verdrängten Komplex zu reproduzieren, so schlägt der Vorstellungslauf eine andere Richtung ein und wird somit von der reproduzierenden Vorstellung abgelenkt; hierdurch kann diese Vorstellung plötzlich dem Bewußtsein entschwinden, also zeitweilig vergessen werden[1]).

Das Verdrängen einer Vorstellung ist, wie leicht ersichtlich, einfach die Hemmung derselben durch die Lenkung der Aufmerksamkeit auf andere Vorstellungen. Beim Denken kommt, wie wir später sehen werden, ein solches Verdrängen der in jedem Momente nicht geeigneten Vorstellungen unaufhörlich vor. Ebenfalls findet im täglichen Leben zweifellos gelegentlich ein Verdrängen unangenehmer Erinnerungen statt,

---

[1]) Freud: Psychopathologie des Alltagslebens. Berlin 1910.

ohne daß es deshalb zur Bildung verdrängter Komplexe kommt. Ein solches Gebilde entsteht wahrscheinlich nur, wenn gewisse krankhafte Dispositionen noch unbekannter Natur vorliegen (S. 474). Dies scheint besonders in den nicht seltenen Fällen hervorzutreten, wo die Begleiterscheinungen eines verdrängten Affektes in irgendein dauerndes körperliches Leiden (Stigma) „konvertiert" werden. Wo solche Stigmata konvertierter Affekte auftreten, liegt eine ausgesprochene Nervenkrankheit (Hysterie) vor, die auf die Weise geheilt werden können soll, daß der Arzt den Patienten veranlaßt, von dem Erlebnis zu reden, dessen Erinnerung verdrängt worden ist. Wenn dies gelingt, kommt es gewöhnlich zu einer heftigen Affektäußerung, wonach das betreffende Krankheitssymptom verschwindet[1]). Selbst wenn wir aber dies alles als Tatsache hinnehmen, ist damit die Bildung der Komplexe, weder die der krankhaften mit hysterischen Stigmata noch die der normaleren, nicht im geringsten erklärt. Denn es kommt doch im täglichen Leben nicht gar zu selten vor, daß man seinen Ärger, Zorn oder irgendeinen anderen Affekt hinunterschlucken, d. h. verdrängen muß, ohne daß es deshalb sofort zu anormalen Komplexbildungen kommt. Eine besondere Disposition, eine mehr oder weniger krankhafte Entwicklung des Gefühlslebens, scheint somit in allen Fällen die Bedingung der Komplexbildung zu sein, und diese letztere ist dann nicht die Ursache, sondern nur ein Symptom der Krankheit.

IV. Das Kombinieren.

Einundsiebzigstes Kapitel.

Phantasieren und Denken.

Als Kombinieren bezeichnen wir das Aneinanderreihen von Vorstellungen in einer Ordnung, die vorher nicht erlebt worden ist. Das Kombinieren zerfällt in zwei Hauptgruppen, je nachdem die aneinander gereihten Vorstellungen Bewegungsvorstellungen oder irgendwelcher anderen Art sind. Werden ausschließlich Bewegungsvorstellungen kombiniert, in eine neue Verbindung gebracht, so entstehen dadurch bisher nicht ausgeführte Bewegungen; dieser Vorgang, der gewöhnlich als

[1]) Breuer und Freud: Studien über Hysterie. Leipzig 1895. Freud: American Journal of Psychol. Bd. 21, S. 181 u. f.

Koordination der Bewegungen bezeichnet wird, soll im folgenden Kapitel erörtert werden. Bei der Kombination anderer Vorstellungen, beim Denken im weitesten Sinne, kommen Bewegungsvorstellungen nur neben anderen und meistens nur als motorische Wortvorstellungen vor. Dieses Kombinieren von Vorstellungen kann zwei verschiedene Formen annehmen: das *Phantasieren* und das *Denken* (im engeren Sinne), die sich hauptsächlich nur durch den Zweck des Vorstellungslaufs unterscheiden. Wie jede andere Wirkung der Aufmerksamkeitskonzentration kommen neue Kombinationen von Vorstellungen nämlich nur auf die Weise zustande, daß die Vorstellung von einem zu erreichenden Zweck gewisse Vorstellungen anbahnt und andere hemmt, wodurch der Vorstellungslauf in eine bestimmte Richtung gelenkt wird. Beim eigentlichen Denken ist der den Vorstellungslauf beeinflussende Zweck, eine Vorstellungskombination zu bilden, die mit der Erfahrung völlig übereinstimmt, so daß man die vorgestellten Erscheinungen unter gegebenen Umständen beobachten können würde. Beim Phantasieren dagegen ist der Zweck, bestimmte Gefühle zu befriedigen; ob die den Zweck erfüllende Vorstellungskombination mit der Erfahrung übereinstimmt oder nicht, kann je den Umständen nach von größerem oder geringerem Belang sein. Zur näheren Erläuterung dieser Tätigkeiten betrachten wir einige Beispiele.

Ein von gegebenen Wahrnehmungen stark begrenztes Phantasieren ist das willkürliche Zustandebringen von Illusionen. Viele Menschen lieben es, in den Wolken Berglandschaften, Tiere, Gesichter u. dgl. zu sehen, wobei natürlich eine gewisse Ähnlichkeit der Umrisse den Ausgangspunkt der Vorstellungskombination bildet. Ebenfalls können ins Klappern eines Mühlrades, ins Rieseln eines Baches, ins Getöse eines Schnellzugs Melodien hineingelegt werden, indem der einigermaßen konstante Rhythmus dieser Geräusche die Melodie trägt. Solche Phantasien haben, wie leicht ersichtlich, gar nichts mit der Wirklichkeit zu tun. Man weiß sehr wohl, daß die Deutung eine willkürliche ist; der Zweck der ganzen Tätigkeit ist nur die Befriedigung, die man fühlt, indem dem gesehenen oder gehörten Chaos ein Sinn gegeben wird.

Von Wahrnehmungen unabhängig und ebenfalls von der Wirklichkeit durchaus unbeschränkt sind die Wachträume, das Bauen von Luftschlössern. Sie sind eben „phantastisch“, stellen das Leben ohne Rücksicht auf die tatsächlichen Verhältnisse

möglichst glücklich dar. Der Zweck der Tätigkeit ist wohl immer das Erregen des Wonnegefühls, sich einmal einen Augenblick vom Druck der Wirklichkeit befreit zu sehen.

Bei den Schöpfungen der Kunst, gleichviel ob in Worte oder in Bilder gekleidet, ist der Zweck, ebenfalls bestimmte Gefühle zu erregen. Hierzu können bald ganz abenteuerliche, der Wirklichkeit nur wenig ähnliche Vorstellungen dienen; bald wird aber eine fast ebenso strenge Übereinstimmung mit der Erfahrung gefordert wie beim eigentlichen Denken, indem jeder der Wirklichkeit widerstreitende Zug der Darstellung die künstlerische Wirkung vereitelt. In solchen Fällen z. B., wo der Schriftsteller uns die Überzeugung beizubringen sucht, daß das Schicksal seiner Personen unter den gegebenen Umständen eben nur das dargestellte sein konnte, muß er sich selbstverständlich ebenso genau an die Wirklichkeit halten wie eine Person, die die mutmaßlichen Folgen einer beabsichtigten Handlung überlegt. Zwischen dem künstlerischen Schaffen und dem Denken macht dann nur der Zweck den Unterschied. Dem Künstler schwebt ein Gefühl vor, das er durch seine Darstellung zu erregen sucht, während der über die Folgen seiner Handlung nachdenkende, ohne Rücksicht auf die emotionelle Begleiterscheinung, nur die wahrscheinlichen Ergebnisse ausfindig zu machen hat. Im übrigen muß die Lenkung des Vorstellungslaufs und das Aneinanderreihen der Vorstellungen in den beiden Fällen auf wesentlich dieselbe Weise stattfinden, so daß wir uns, um Wiederholungen zu vermeiden, darauf beschränken können, den Vorgang beim eigentlichen Denken zu betrachten.

Vom Denken besitzen wir eine besondere Wissenschaft, die Logik, die nach dem allgemeinen Dafürhalten die Gesetze des richtigen Denkens angibt. Es stände mithin zu erwarten, daß wir nur die Logik zu befragen hätten, um über die Tätigkeit des richtigen Denkens, das ausschließlich unser Interesse beanspruchen kann, die nötigen Aufschlüsse zu erhalten. In der Tat ist dies aber nicht der Fall. Die Logik ist eine formale Wissenschaft; sie lehrt, wie man richtig denken *kann*, wenn man mit gewissen Gebilden, den Urteilen, operiert, die wiederum von bestimmten Elementen, den Begriffen, zusammengesetzt sind. Ob aber das Denken in praxi durch Operationen mit solchen Gebilden sich vollzieht, darüber sagt die Logik nichts, und die psychologischen Untersuchungen haben es nicht eben wahrscheinlich gemacht. Daß Begriffe im menschlichen Be-

wußtsein vorkommen, wurde schon vor zwei Jahrhunderten ernstlich in Zweifel gezogen [1]). In unseren Tagen ist nachgewiesen worden, wie es zahlreiche Urteile gibt, die dem Anschein nach von einer einfachen Vorstellung nicht zu unterscheiden sind [2]). Später ist eine große Arbeit darauf eingesetzt worden, den psychischen Charakter des Denkens zu bestimmen; das Ergebnis dieser Untersuchungen, auf die wir hier nicht näher eingehen können, ist jedoch in der Hauptsache ein negatives [3]). Die Logik ist also so weit davon entfernt, uns über die Denkvorgänge belehren zu können, daß es sogar zweifelhaft ist, ob die Gebilde und Operationen, die der Logik zufolge das richtige Denken konstituieren, sich überhaupt im menschlichen Bewußtsein nachweisen lassen.

Daß die erwähnten Untersuchungen keine positiven Resultate ergeben haben, rührt wohl zuvörderst davon her, daß die Versuche hauptsächlich abstrakte Denkvorgänge betrafen, deren Elemente meistens die inhaltleeren Bewußtheiten (S. 472) sind. Nun ist Denken aber durchaus nicht mit abstraktem Denken gleichbedeutend; fast alles Denken des täglichen Lebens und ein sehr großer Teil des wissenschaftlichen Denkens operiert mit konkreten, anschaulichen Vorstellungen. Es ist daher eine nicht eben glückliche Idee, die Untersuchung der Denkvorgänge mit einem relativ selten vorkommenden Spezialfall anzufangen, der zumal ganz besondere Schwierigkeiten darbietet. Versuchen wir also lieber einen mit konkreten Vorstellungen operierenden Gedankengang zu analysieren; vielleicht wird uns diese Analyse die Aufschlüsse geben, die schließlich zum Verständnis des abstrakten Denkens führen können.

Das Material zu einer solchen Analyse habe ich auf die Weise beschaffen, daß ich mir die Aufgabe stellte, ausfindig zu machen, welche Lichtquelle vorzuziehen wäre, wenn die Beleuchtung von drei nebeneinander liegenden Flächen durch Veränderung der Entfernung der Lichtquellen variiert werden, bei gleicher Entfernung aber konstant bleiben sollte. Derartige konkrete Gedankengänge treten bei mir fast ausschließlich als Gesichtsbilder auf. Ich dachte daher die Sache durch, indem ich mir, soweit möglich, die Zwischenstufen einprägte; darauf reproduzierte ich den ganzen Vorstellungslauf und

[1]) Berkeley: Treatise concerning the principles of knowledge. 1710.

[2]) Marbe: Experimentell psychol. Untersuchungen über das Urteil. Leipzig 1901.

[3]) Eine eingehende Darstellung gibt Titchener: Lectures on the experimental Psychology of the Thought Processes. New York 1909.

skizzierte flüchtig die auftretenden Bilder, die ich nachher so ausführte, daß sie überhaupt verständlich wurden. Hierbei habe ich besonders darauf geachtet, nichts mehr wiederzugeben, als ich tat-

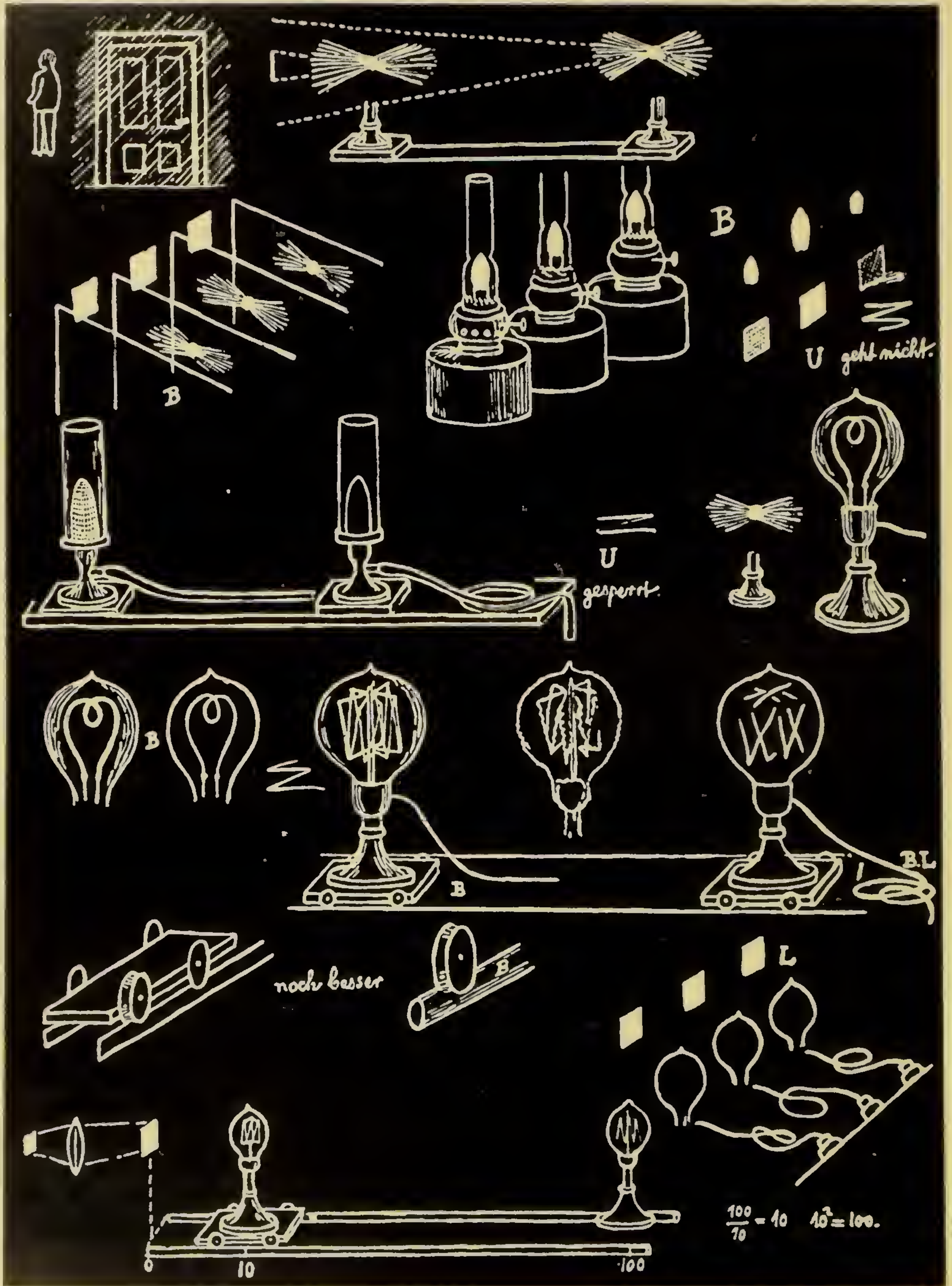


Fig. 72.

sächlich „sah“; die weniger klaren Bilder wurden mit nur wenigen Linien angedeutet. Der Gedankengang ist in Fig. 72 vollständig dargestellt; in zwei verschiedenen Beziehungen weicht das Bild aber

von dem wirklich Gesehenen ab. Erstens sind die Farben der Einfachheit wegen ausgelassen, während alle Dinge tatsächlich mit ihren natürlichen, obwohl äußerst blassen Farben auftraten. Zweitens sollten die Gegenstände eigentlich hell auf dunklem Hintergrunde dargestellt sein, was sich nur dadurch hat andeuten lassen, daß die Figuren weiß auf schwarzem Grunde gezeichnet wurden.

Gehen wir jetzt auf die Einzelheiten der Fig. 72 ein. Ein konkreter, anschaulicher Gedankengang ist bei mir stets lokalisiert; im vorliegenden Beispiel stehe ich im Dunkelzimmer des Laboratoriums und kehre der Tür den Rücken zu. Nichtsdestoweniger sehe ich die Tür hinter meinem Rücken hell beleuchtet, so wie sie vom anderen Zimmer aus gesehen wird (Fig. 72 oben links). Hierauf stellt sich die Aufgabe anschaulich dar: Die Beleuchtung einer Fläche verändert sich, indem eine Lichtquelle (ein über dem Fuß eines Leuchters schwebender Strahlenpunkt) sich von der Fläche entfernt. (Die Figur zeigt die Lichtquelle in zwei verschiedenen Entfernungen, da ich die Bewegung der Lichtquelle nicht anders habe darstellen können.) Ferner sehe ich drei mittels undurchsichtiger Schirme voneinander getrennte Lichtquellen, die je eine Fläche gleich hell beleuchten, indem sie sich in derselben Entfernung von den Flächen befinden. Das *B* auf dem einen Schirm bedeutet, daß ich die Bewußtheit hatte, daß die Schirme schwarz und undurchsichtig waren; dennoch sehe ich die beleuchteten Flächen und die hinteren Schirme durch die vorderen hindurch.

Lösung der Aufgabe. Die drei Lichtquellen verwandeln sich zu Petroleumlampen von der früher im Laboratorium häufig angewandten Form. Die Flammen der drei Lampen sind gleicher Höhe. *B* = die Bewußtheit, daß etwa eine halbe Stunde verstreicht; die Flammen der Lampen sind jetzt ungleicher Höhe. (Die drei ungleich hohen Flammenbilder werden natürlich nicht neben, sondern auf den Lampen gesehen; diese Veränderung läßt sich aber ebensowenig wie die räumliche Bewegung auf andere Weise darstellen.) Sofort lenkt sich die Aufmerksamkeit auf die drei beleuchteten Flächen, die jetzt verschiedene Helligkeit haben. Die hiernach in der Figur vorkommende Zickzacklinie bedeutet die kinästhetische Empfindung des Kopfschüttelns; *U* = Unlust; außerdem habe ich gesprochen: „Es geht nicht."

Einen Augenblick später tritt die Lichtquelle als Auerbrenner auf, der Gasschlauch liegt auf der Unterlage ausgestreckt. Der Brenner bewegt sich nach rechts, von der beleuchteten Fläche weg; der Schlauch schlängelt sich und biegt sich scharf am Rande der Tischplatte. Kopfschütteln und Unlust, dabei gesprochen: „Gesperrt, gewiß unvermeidlich."

Das unbestimmte Bild der Lichtquelle tritt wieder auf und verwandelt sich zu einer elektrischen Lampe mit Kohlendrahtbrenner. Die Aufmerksamkeit lenkt sich auf den Brenner, der hell leuchtend gesehen wird; *B* = die Bewußtheit, daß eine lange Zeit verstreicht. Der Kohlendraht wird dünner und weniger leuchtend gesehen; Kopfschütteln. Die Lampe tritt mit einem Metalldrahtbrenner versehen auf. *B* auf der Tischplatte = die Bewußtheit, daß die Unter-

lage nicht ganz glatt ist. Die Lampe bewegt sich nach rechts, zittert und kommt schließlich mit zerstörtem Metalldraht zur Ruhe. Die Leitung schiebt sich bei der Bewegung in Windungen auf; $B =$ die Bewußtheit, daß der Strom hierdurch nicht unterbrochen werden kann. Außerdem tritt die Bewußtheit auf, daß der Zerstörung des Metalldrahts vorgebeugt werden kann; $L =$ Lust hierüber. Die Aufmerksamkeit lenkt sich auf den Wagen, worauf die Lampe steht. Gelbe Metallschienen schieben sich ein (Bewußtheit, daß sie aus Messing sind); die Räder des Wagens werden als Rollen gesehen, so daß der Wagen nicht entgleisen kann. Plötzlich spreche ich: „Aber so kann es noch besser gemacht werden.“ Die Schienen verwandeln sich zu durchsichtigen Rohren; $B =$ die Bewußtheit, daß es gläserne Rohre sind, und daß die Friktion außerordentlich gering wird, so daß die Metalldrähte nicht zerstört werden können. Drei elektrische Lampen, mit den Wandkontakten verbunden, befinden sich in derselben Entfernung von drei Flächen, die gleich hell gesehen werden. $L =$ Lust bei dieser Übereinstimmung.

Das letzte Bild gibt einen schnellen Überblick über die Größe der Variationen der Beleuchtung und die Weise, wie das Licht der direkt beleuchteten Fläche (einer Mattglasscheibe) mittels einer Linse auf den Kollimatorspalt konzentriert werden kann. Diese Gedanken gehören eigentlich nicht zur Lösung der gestellten Aufgabe, schlossen aber tatsächlich die ganze Betrachtung ab.

Man kann wohl nicht umhin, den dargestellten Vorstellungslauf, der zur Lösung einer bestimmten Aufgabe führt, ein Nachdenken zu nennen. Es fragt sich dann, ob wir hier den Begriffen, den Urteilen und den Schlüssen entsprechende psychische Gebilde nachweisen können, die der Logik zufolge die Gedanken ausmachen.

Begriffe als durch Definition abgegrenzte Vorstellungen kommen zwar nicht vor; die Erinnerungsbilder bekannter Gegenstände des Alltagslebens, die den wesentlichen Inhalt des Vorstellungslaufs bilden, können aber als festgestellte Begriffe angesehen werden. Diese Bilder treten teils als recht unbestimmte, aber umfangreiche Obervorstellungen (z. B. Lichtquelle), teils als bestimmtere Untervorstellungen (Petroleumlampe, Auerbrenner, elektrisches Licht) auf. Diese letzteren sind zwar konkrete Individualvorstellungen, d. h. direkte Reproduktionen häufig gesehener Gegenstände, sie sind aber dennoch Allgemeinvorstellungen in dem Sinne, daß keine ihrer speziellen Eigenschaften in der folgenden Entwicklung benutzt werden, so daß sie einfach die charakteristischen Eigenschaften der verschiedenen Objekte vertreten. Wie der Mathematiker ein bestimmtes Dreieck zeichnet und dennoch behaupten kann, daß der für dieses Exemplar bewiesene Satz für alle Dreiecke gültig ist, so können wir auch auf anderen

Gebieten mit Individualvorstellungen operieren, ohne daß die Allgemeingültigkeit der Resultate dadurch eingebüßt wird. Unsere Vorstellungen sind einfach Symbole, Typen, aus einer großen Anzahl Einzelerfahrungen hervorgegangen, und sie können daher, wie individuell-anschaulich sie denn auch hervortreten, all diese Erfahrungen repräsentieren, solange keine individuellen Eigenschaften benutzt werden [1]).

Neben den Anschauungsbildern konkreter Objekte treten auch Bewußtheiten unanschaulicher Verhältnisse (wie z. B. die der kürzeren oder längeren Zeitdauer, der Rauhigkeit oder Glattheit usw.) auf. Ganz ohne anschaulichen Inhalt sind diese Bewußtheiten wohl keineswegs immer. So war z. B. die Abnahme der Lichtstärke der Kohlendrahtlampe mit dem Bilde von dem Kontor des städtischen Elektrizitätswerkes verbunden, wo die abgenutzen Lampen jährlich gegen neue vertauscht werden können. Die Bewußtheit der Rauhigkeit oder Glattheit eines Gegenstandes ist mit zweifellosen Tastempfindungen in den Fingerspitzen verbunden usw. Solche Empfindungsmomente sind allerdings nicht immer vorhanden, dagegen glaube ich nie die Bewußtheit von etwas zu haben ohne das betreffende Wort, das nun einmal als Symbol unserer Erfahrungen auf dem speziellen Gebiete dasteht. Beim „Denken an etwas", selbst wenn es in der ganz unanschaulichen Form einer Bewußtheit auftritt, kann ich also nichts von den Vorstellungen Verschiedenes finden.

Urteile, die der Logik zufolge wesentliche Elemente eines Denkvorganges sind, sind beim konkreten Denken keineswegs leicht nachzuweisen, weil ihre Form von der gewöhnlichen, der sprachlichen, sehr abweicht. Wenn aber eine unbestimmte Vorstellung eine bestimmtere Form annimmt (die unbestimmte Lichtquelle nimmt z. B. die Form einer Petroleumlampe, eines Auerbrenners usw. an), oder wenn eine Vorstellung sich an irgendeinem Punkte ergänzt (es werden z. B. Schienen, worauf der Wagen rollen kann, dem Apparat hinzugefügt), so liegen hier zweifellos Urteile vor: „Die Lichtquelle ist eine Petroleumlampe", „Der Wagen rollt auf Schienen" usw. Im allgemeinen kann man sagen, daß *jede Veränderung einer Vorstellung ein Urteil ist, das eine neue Eigenschaft des Dinges hervorhebt.*

---

[1]) Pillsbury: The Psychology of Reasoning. New York 1910. S. 60 u. f.

Die Urteile betreffen indes nicht nur Dinge und ihre verschiedenen Eigenschaften; in vielen Fällen geben sie das Resultat einer Vergleichung verschiedener Dinge an. *Wenn zwei oder mehrere Vorstellungen in einer Beziehung, auf die die Aufmerksamkeit eben gelenkt ist, als gleich oder verschieden aufgefaßt werden, so liegt ein Vergleichsurteil, daß das Ergebnis einer Vergleichung angibt, vor.* Im obigen Beispiel (Fig. 72) treten die drei Petroleumlampen erst mit gleichgroßer Flammenhöhe auf, und eben diese gleiche Höhe wird beachtet, während alles übrige nur nebensächlich ist: dieser gesamte Zustand ist das Urteil: „Die Flammen sind gleich hoch". Dann verändern sich diese Flammen, was schon wieder ein Urteil ist: „Die Höhe der Peroleumflammen bleibt auf die Dauer nicht konstant." Und indem dann ferner die verschiedene Höhe der drei Flammen festgehalten wird, ist hiermit das Urteil: „Die anfangs gleichgroßen Flammenhöhen werden mit der Zeit verschieden" gegeben. In der Fig. 72 finden sich mehrere Beispiele solcher Vergleichsurteile.

Schließlich finden wir noch Urteile, die ein Kausalverhältnis betreffen; ein solches Urteil muß aber komplizierter als die vorher erwähnten sein. Wir sprechen im allgemeinen von Ursache und Wirkung, wenn die Veränderung eines Dinges konstant von einer bestimmten Veränderung eines anderen Dinges begleitet wird. *Um ein Kausalverhältnis auszudrücken, muß ein Urteil daher eine sich verändernde Vorstellung enthalten, die von der Veränderung einer anderen Vorstellung stets begleitet wird.* In der Fig. 72 kommen mehrere solche Urteile vor. Wenn die Flammenhöhen der drei Lampen ungleich groß werden, treten damit die drei beleuchteten Flächen mit verschiedener Helligkeit auf, was augenscheinlich heißt: „Die Helligkeit der beleuchteten Flächen variiert mit der Flammenhöhe der Lampen." Später sehen wir, wie die räumliche Bewegung der Metalldrahtlampe die Erschütterung und schließlich die Zerstörung des Drahtnetzes herbeiführt, wodurch ebenfalls ein ursächlicher Zusammenhang der Veränderungen angegeben wird.

Neben Empfindungen und Vorstellungen werden von einigen Psychologen auch Urteile als besondere psychische Gebilde aufgestellt, die sich erstens von den Vorstellungen dadurch unterscheiden, daß sie eine Bejahung oder Verneinung enthalten [1]). Unsere konkreten Urteile sind aber, wie wir eben gesehen haben,

[1]) Witasek: Grundlinien der Psychologie. Leipzig 1908, S. 280.

einfach sich verändernde Vorstellungen; ob man eine solche Veränderung eine Bejahung oder eine Verneinung nennen will, ist belanglos, da der Unterschied zwischen positiven und negativen Urteilen ein rein sprachlicher ist. Zweitens wird behauptet, daß der Gegensatz „wahr“ und „falsch“ nur auf die Urteile Anwendung finden könne, was mir sehr zweifelhaft erscheint. Wenn ich z. B. in einer Gegend, die ich sehr gut kenne, ein großes Haus sehe, das gestern nicht da war, was ich mit völliger Sicherheit weiß, weil ich über das Feld ging, wo das Haus jetzt liegt, so widerspricht diese Wahrnehmung meinem gesamten topographischen und technischen Wissen dermaßen, daß ich sofort meine Beobachtung als falsch, illusorisch ansehe. Der Theorie zuliebe kann man natürlich behaupten, daß ich zuerst das Urteil: „Hier liegt ein Haus“ gebildet habe und dann dieses Urteil falsch nenne; das ist aber einfach eine Behauptung. Gegeben sind nur die Wahrnehmung des Hauses und das unmittelbare Gefühl ihrer Unmöglichkeit (vgl. Kap. 84). Ich kann somit nirgends die Unterschiede zwischen Vorstellungen und Urteilen sehen, die das Aufstellen der letzteren als besondere psychische Elemente rechtfertigen.

Schlußfolgerungen sind äußerst schwierig nachzuweisen. Der Vorstellungslauf während des Denkens ist völlig durch die Aufgabe bestimmt. Obwohl die Zielvorstellungen nicht konstant bewußt sind, determinieren sie dennoch den ganzen Vorgang. Nur diejenigen Vorstellungen, die überhaupt eine Möglichkeit darbieten, zum Ziele zu führen, werden reproduziert und daraufhin geprüft, ob sie den Zweck erfüllen. In unserem obigen Beispiele werden nach und nach die Beziehungen der verschiedenenen Lichtquellen zu der Aufgabe untersucht, ob sie auf die Dauer konstant bleiben können und ihre Entfernung von der beleuchteten Fläche sich ohne Störung verändern läßt. Führt die Vorstellung von einer bestimmten Lichtquelle zu einem zweckwidrigen Resultat, wird sofort eine andere geprüft, bis das Ziel endlich erreicht wird. Es ist zwar ein ganz spezieller Fall, den wir hier beispielsweise untersucht haben; Moskiewicz hat aber durch sorgfältige Analysen einer Reihe verschiedener Denkvorgänge nachgewiesen, daß der Vorstellungslauf in der Hauptsache überall der nämliche ist[1]). In einem solchen Prozeß kommen eigentliche Konklusionen, wie die Logik sie fordert, kaum vor; es kann höchstens davon die Rede sein, wenn an irgendeiner Zeit das jeweilige Resultat mit der Aufgabe verglichen wird. In unserem obigen Beispiel finden wir wenigstens einige Erscheinungen, die sich vielleicht als Schlüsse deuten lassen, z. B.: „Die Aufgabe war, verschiedene Flächen gleich hell zu

[1]) Zur Psychologie des Denkens. Archiv für Psych. Bd. 18, S. 305 u. f.

beleuchten; Petroleumlampen ergeben auf die Dauer verschiedene Helligkeiten, also ist diese Methode unbrauchbar." Dieser Schlußsatz kommt mehrmals vor und tritt stets in der Form kinästhetischer Empfindungen, als Kopfschütteln auf. Der Unterschied zwischen Theorie und Praxis, zwischen den Forderungen der Logik und den tatsächlichen Bewußtseinszuständen kann wohl kaum größer sein; von Identität des Schlußsatzes mit den Prämissen ist hier keine Spur.

Wenn wir aber beim konkreten Denken die Gesetze der Logik nicht befolgen, so erhebt sich die Frage, wie das Resultat dann richtig wird, und wie die subjektive Überzeugung von dieser Richtigkeit entsteht. Die Antwort ist sehr einfach. Um überhaupt richtig denken zu können, muß man die nötigen Kenntnisse besitzen. Nur wenn man die Eigenschaften der verschiedenen Dinge kennt, kann man im voraus, ohne zu prüfen, ihre Beziehungen zu einer gegebenen Aufgabe bestimmen. Das Denken besteht nun einfach darin, alle betreffenden Erfahrungen nach und nach zu reproduzieren, so daß man sich das Verhältnis der Dinge unter den verschiedenen Umständen vorstellt. *Richtig wird das Denken mithin, wenn der Vorstellungslauf an jedem Punkt mit der Erfahrung übereinstimmt, so daß man sich eben nur vorstellt, was sich unter den gegebenen Umständen in der Wirklichkeit beobachten ließe.* Ferner kommt die subjektive Überzeugung von der Richtigkeit des Denkens dadurch zustande, daß man glaubt, über erschöpfende Erfahrungen zu verfügen. Die Richtigkeit des Denkens und die Überzeugung von der Richtigkeit sind daher voneinander ganz unabhängig. Man kann richtig denken, ohne der Richtigkeit sicher zu sein, indem man nicht weiß, ob alle Momente in Betracht gezogen sind. Umgekehrt kommt es besonders auf komplizierteren Gebieten häufig vor, daß man glaubt, richtig gedacht zu haben, und dennoch zu einem falschen Resultate kommt, weil die Kenntnisse ungenügend waren.

Das konkrete, mit Anschauungsbildern operierende Denken, das wir hier untersuchten, ist zweifellos die häufigst vorkommende Form des Denkens. Auf diese Weise können schon die höheren Tiere denken [1]), und wie schon oben erwähnt, läßt sich noch ein großer Teil des wissenschaftlichen Denkens auf dieselbe Weise durchführen. Die große Ähnlichkeit, die die Dar-

---

[1]) Lloyd Morgan: Animal life and intelligence. London 1893. S. 328 u. f.

stellungen der Fig. 72 mit den Hieroglyphen der Ägypter und der Bilderschrift der amerikanischen Indianer haben, scheint mir darauf hinzuweisen, daß diese primitiven Schriftarten als eine einfache Wiedergabe des Inhaltes des denkenden Bewußtseins entstanden sind. Von diesem konkreten Denken in Bildern unterscheidet sich das abstrakte Denken jedenfalls dadurch, daß es die Erinnerungsbilder durch die entsprechenden Worte ersetzt. Inwiefern dabei auch die dem Anschein nach inhaltleeren Bewußtheiten eine größere Rolle spielen, muß dahingestellt bleiben; bisher scheint mir hierfür kein Beweis geliefert zu sein. Durch die Anwendung der Worte statt der Erinnerungsbilder der Dinge wird die Sache aber sofort komplizierter. Da die Worte nur Symbole sind, kann es nötig werden, genau festzustellen, welche Vorstellungen durch ein bestimmtes Wort repräsentiert werden sollen, was also einfach heißt, daß die Bedeutung der Worte mittels Definition angegeben werden muß. Ferner tritt statt der als Einheiten vorgestellten Bilder eine Reihe von Worten, die gegliedert werden müssen, und es entstehen somit Sätze, deren gemeinsame Form das einfache Urteil der Logik ist. Es ist hiernach ersichtlich, daß die formale Logik vom verbalen Denken abgeleitet worden ist; gäbe es nur ein konkretes Denken, würde man gewiß nie zu den Gesetzen der Logik gekommen sein. Übrigens schreitet der Vorstellungslauf nach meinem Ermessen beim verbalen Denken auf genau dieselbe Weise fort wie beim konkreten Denken. Die mittels Worte ausgedrückten Vorstellungen werden, von der Aufgabe determiniert, so aneinander gereiht, daß sie schließlich den Zweck erreichen. Der in der Fig. 72 dargestellte Denkvorgang könnte selbstverständlich ebensogut mittels Worte durchgeführt worden sein und würde dann in allem wesentlichen den nämlichen Verlauf gehabt haben. Die Syllogismen würden dabei kaum eine größere Anwendung gefunden haben als beim konkreten Denken. Die Lehre der Logik vom Schließen hat somit für den eigentlichen Denkvorgang nur wenig Bedeutung; das Schließen ist, wie Pillsbury hervorhebt, nur eine besondere Art, auf die sich ein Satz beweisen läßt[1]).

---

[1]) The psychology of reasoning. New York 1910. S. 186 u. f.

Zweiundsiebzigstes Kapitel.

Koordination der Bewegungen.

Nicht selten kann die Aufgabe gestellt sein, eine neue, vom betreffenden Individuum bisher nicht ausgeführte Reihe von Bewegungen zustande zu bringen. Solche Fälle liegen vor, wenn neue Fertigkeiten (z. B. Radfahren, Schlittschuhlaufen, kompliziertere Turnübungen oder Jongleurkünste usw.) erlernt werden sollen. In allen erwähnten und analogen Fällen handelt es sich darum, daß in ganz bestimmten Momenten verschiedene Muskelgruppen gleichzeitig ins Spiel treten, so daß eine kontinuierliche Bewegung durch Zusammenwirkung der einzelnen Glieder und des Körpers resultiert. Die Bewegung, die ausgeführt werden soll, muß man entweder wahrnehmen oder sich auf irgendeine Weise vorstellen, und die Aufgabe ist, die nötigen Bewegungsvorstellungen, die die betreffenden Bewegungen auslösen, zu kombinieren. Die Lösung einer solchen Aufgabe ist augenscheinlich dem oben (Fig. 72) dargestellten Denkvorgang analog, indem es sich beim letzteren ebenfalls darum handelte, eine Kombination von Vorstellungen ausfindig zu machen, wodurch ein im voraus gegebenes Ziel erreicht wurde. Zwischen den beiden Fällen besteht nur der wesentliche Unterschied, daß man sich beim Denken auf die Kombination der Vorstellungen beschränken kann, während die Koordination der Bewegungen gewöhnlich erfordert, daß die Bewegungen ausgeführt werden.

Durchaus notwendig ist dies allerdings nicht. Motorisch veranlagte Individuen, die als geübte Turner schon die Bewegungen ihres Körpers in der Gewalt haben, können gefährliche äquilibristische Künste einüben, indem sie einfach die verschiedenen Bewegungsvorstellungen reproduzieren und sich dabei ruhig verhalten. Wenn auf diese Weise das Einsetzen der Bewegungsvorstellungen je im rechten Momente einigermaßen gesichert ist, können sie den Sprung ohne gar zu großes Risiko versuchen; die völlige Sicherheit der Bewegungen wird natürlich erst durch fortgesetzte Übung erreicht. Sehen wir aber von solchen Ausnahmefällen ab, wird die Koordination bestimmter Bewegungen nur durch die Ausführung der Bewegungen zustande gebracht.

Der Vorgang, wodurch die Koordination der Bewegungen hergestellt wird, ist übrigens, wie gesagt, dem Denken analog.

Die vorgestellte Bewegung determiniert die Reproduktion der gleichzeitigen und sukzessiven Bewegungsvorstellungen, so daß nur solche Vorstellungen erregt werden, die zur Aufgabe in Beziehung stehen. Die hierdurch ausgelösten Bewegungen können aber anfangs weder qualitativ noch intensiv dem Zwecke völlig entsprechen, und die Bewegungen müssen daher eingeübt werden, d. h. durch Wiederholung muß eine immer zweckmäßigere Abstufung sowohl der gleichzeitigen als der sukzessiven Bewegungen der einzelnen Körperteile erreicht werden. Wenn es möglich ist, wird die zusammengesetzte Bewegung gern in Teile aufgelöst, indem jede Gruppe gleichzeitiger Bewegungen für sich eingeübt wird, und dann später der vorhergehenden angereiht. In vielen Fällen ist aber eine solche Zerlegung der Bewegungen kaum möglich. Wenn z. B. der Schlittschuhläufer einen neuen kühnen Schwung erlernen will, muß die Bewegung kontinuierlich ausgeführt werden, weil sie in jedem Momente eine gewisse Geschwindigkeit erfordert, die nur durch die vorhergehenden Bewegungen erreicht werden kann. Eine partielle Einübung kann daher nur in geringer Ausdehnung stattfinden; man muß es wagen, den Schwung sofort auszuführen. In solchen Fällen haben die erwähnten, motorisch veranlagten Individuen, die die betreffenden Bewegungsvorstellungen im voraus bereithalten können, vor allen anderen einen wesentlichen Vorzug, und es ist wohl nicht ganz unwahrscheinlich, daß die großen individuellen Unterschiede in betreff der Aneignung körperlicher Fähigkeiten eben auf der größeren oder geringeren motorischen Veranlagung beruht.

Viertes Buch.

Die seelischen Komplexe.

Dreiundsiebzigstes Kapitel.

Einleitung.

Als seelische Komplexe bezeichnen wir gewisse zusammengesetzte Gebilde des Seelenlebens, die sich, trotz den größten individuellen Unterschieden, bei allen normalen Menschen in wesentlich übereinstimmender Form entwickeln. Diese Gebilde rühren nicht wie die komplizierten Wahrnehmungen von gegebenen Reizen her, sie entsprechen überhaupt keinen Reizen, sondern entstehen nach und nach durch die vergleichende und verknüpfende Tätigkeit des Bewußtseins auf Grundlage einer immer wachsenden Anzahl Erfahrungen. Es sind aber nur die in bestimmten Beziehungen gemeinsamen Eigentümlichkeiten der Erlebnisse, aus welchen die komplexen Gebilde hervorgehen, und eben deshalb können sie bei den verschiedenen Individuen, trotz ihrem verschiedenen Inhalt, dieselbe Form haben. Auf diese Weise resultieren die Auffassung der Zeit und des Raumes, das Ich, die Affekte und der Wille, deren Entwicklung uns im folgenden beschäftigen wird.

Die Empfindungen der verschiedenen Sinnesgebiete sind in bezug auf ihre Qualität, Intensität und Klarheit unvergleichbar. Irgendeine Ähnlichkeit zwischen einer Farbe und einem Ton gibt es nicht, wenn nur die Empfindungen als solche in Betracht gezogen werden; geistreiche Vergleiche, die uns als zutreffend erscheinen, bauen fast immer auf übereinstimmende Gefühlswirkungen der verschiedenen Empfindungen. Wenn man bisweilen findet, daß ein Ding riecht, wie ein anderes schmeckt, beruht es fast immer darauf, daß der Geschmack tatsächlich eine Geruchsempfindung ist oder einschließt (vgl. S. 316). Wirkliche Ähnlichkeiten zwischen den Qualitäten verschiedener Modalität gibt es nicht. Ebenso

wenig können wir die Intensitäten der Empfindungen verschiedener Sinnesgebiete vergleichen. Es ist eine sinnlose Frage, ob ein Donnerschlag höher als eine Pappel sei; es hat aber kaum mehr Sinn, zu fragen, ob ein bestimmter Ton stärker als eine vorliegende Farbe sei. Ganz analog liegen die Verhältnisse in betreff der Klarheit verschiedener Empfindungen. Im Gegensatz hierzu stehen die beiden übrigen Dimensionen der Empfindungen: die Dauer und die räumliche Ausdehnung. Ob z. B. eine Geruchsempfindung länger dauert als eine Farbenempfindung, können wir mit größter Sicherheit entscheiden, wenn die beiden Empfindungen gleichzeitig gegeben sind; kommen sie dagegen nacheinander vor, wird die Beurteilung zwar etwas unsicherer, bereitet aber übrigens keine Schwierigkeiten, falls die beiden Dauern nur nicht gar zu lang sind. Die räumliche Ausdehnung verschiedener Empfindungen sind ebenfalls vergleichbar. Die Größe einer kleinen gesehenen Strecke kann man nachher, bei geschlossenen Augen, z. B. mittels einer Bewegung der Hand angeben. Wie genau eine solche Angabe wird, ist nur eine Sache der Übung; prinzipiell macht sie gar keine Schwierigkeiten.

Es wird im folgenden unsere Aufgabe, nachzuweisen, wie diese Vergleichbarkeit der zeitlichen oder räumlichen Ausdehnung der verschiedenartigsten Empfindungen zu der allgemeinen Vorstellung einer Zeit und eines Raumes führt, worin alles Geschehen stattfindet.

Das Ich, das wir schon anfangs als eine wesentliche Eigentümlichkeit des Bewußtseinslebens hervorgehoben haben, hat uns seitdem gar nicht beschäftigt. Dies beruht nun zunächst darauf, daß wir, bei der Analyse der seelischen Zustände und Tätigkeiten, stets von einem großen Teil des jeweiligen Bewußseinsinhaltes abstrahieren müssen, um eben die Erscheinungen hervorzuheben, die uns in jedem einzelnen Falle beschäftigen. Einen wesentlichen Teil des außer acht gelassenen Bewußtseinsinhaltes bildet nun eben das Ich. Die Vorstellung vom Ich ist fast immer gegenwärtig, und besonders wenn wir aktiv, willkürlich unsere Aufmerksamkeit auf etwas lenken, bin Ich, der ich meine Aufmerksamkeit lenke, mir sehr wohl bewußt, daß das Beachtungsmotiv eben mein Motiv ist. Nur wenn wir, in eine bestimmte Richtung eingestellt, von einer Tätigkeit völlig in Anspruch genommen sind, kann die Vorstellung vom Ich durch den übrigen Inhalt des Bewußtseins so gehemmt werden, daß man sich selbst

vergißt. Obwohl also das Ich das ganze Bewußtsein in dem Sinne einschließt, daß sämtliche seelische Erscheinungen Erlebnisse des Ich sind, steht nichtsdestoweniger das Ich als eine, wenngleich sehr komplizierte Vorstellung neben dem übrigen Inhalt des Bewußtseins und kann auf kürzere oder längere Zeit völlig gehemmt, unbewußt, werden. Im folgenden gehen wir auf die Entwicklung dieser Vorstellung vom Ich und ihre Verhältnisse zum übrigen Inhalt des Bewußtseins näher ein.

In enger Beziehung zum Ich stehen die Affekte und der Wille. Als Willen im eigentlichen Sinne bezeichnet man den komplexen Vorgang, daß das Ich aus bestimmten Motiven zwischen verschiedenen Möglichkeiten wählt und sich zu einer bestimmten Handlung entschließt, die dann entweder sofort oder unter gewissen Umständen zu einem späteren Zeitpunkte ausgeführt wird. Vom Wollen kann also überhaupt nur dann die Rede sein, wenn das Ich sich seiner selbst und seiner Motive bewußt ist; die Willenshandlung steht daher als eine ausgesprochene Leistung, die entschiedenste Äußerung des Ich, da. Wo, wie beim kleinen Kinde, sich noch kein Ich entwickelt hat, kann daher auch keine eigentliche Willenshandlung vorkommen; die oben (S. 478) erwähnte Entwicklung der Instinkte und Triebe zu Willenshandlungen setzt also eine gleichzeitige Entwicklung des Ich voraus. Im folgenden werden wir, auf Grundlage der vorliegenden Beobachtungen über die Bewegungen des Kindes, es versuchen, dieser Entwicklung nachzuspüren.

Als Affekt bezeichnen wir eine Gemütsbewegung nebst ihren körperlichen Begleiterscheinungen; die Gemütsbewegung ist mithin ausschließlich die psychische Seite des Affektes. Es wurde oben (S. 484) erwähnt, wie wir schon bei kleinen Kindern Zustände affektähnlichen Charakters beobachten können, indem sowohl Bewegungen willkürlicher Muskeln als Veränderungen der vegetativen Vorgänge psychische Zustände begleiten können. Kommen nun diese körperlichen Prozesse unter Umständen zustande, wo eine bestimmte Gemütsbewegung zu erwarten wäre, und sind sie außerdem denjenigen körperlichen Äußerungen analog, die wir beim Erwachsenen als Begleiterscheinungen der betreffenden Gemütsbewegung beobachten können, so scheint es nicht ganz unberechtigt, anzunehmen, daß ein Affekt vorliege. Im allgemeinen wird aber auf der gegebenen Entwicklungsstufe des Kindes von einer Gemütsbewegung in demselben Sinne wie beim Erwachsenen keine

Rede sein können (S. 485). Es liegt daher näher, den Zustand als eine Instinktäußerung aufzufassen, die allmählich mit wachsender Entwicklung des Bewußtseins in eine Gemütsbewegung übergeht. Scharfe Grenzen zwischen komplizierten Erscheinungen wie den in Rede stehenden sind natürlich nicht zu ziehen; es muß sich aber irgendein Merkmal angeben lassen, das die Gemütsbewegung vom Instinkt unterscheidet.

In den Gemütsbewegungen, wie wir sie beim Erwachsenen kennen, tritt erstens die Vorstellung vom Ich stets deutlich hervor, und zweitens unterliegt das Ich einer größeren oder geringeren Störung. Im höchsten Affekte ist man „außer sich" — vor Freude, vor Entsetzen, vor Zorn usw. — aber schon bei geringeren Stärkegraden des Affektes kommt das Ich sich fremd vor; man empfindet unmittelbar eine Störung des normalen Ich. Wenn „ich zornig bin", oder wenn „ich mich schäme", usw., ist „Ich" einfach nicht das Ich des normalen Gleichgewichtes, und diese Veränderung wird empfunden. Durch diese Eigentümlichkeit unterscheidet sich die Gemütsbewegung einerseits vom Instinkt, wo zwar ein Gefühlszustand vorliegt, der sich einen unmittelbaren motorischen Ausschlag gibt, wo aber eine Vorstellung vom Ich im allgemeinen gar nicht vorkommt, und andererseits von den eigentlichen Gefühlen, die zwar wie die Gemütsbewegungen von Veränderungen der vegetativen Prozesse, aber von keiner empfundenen Veränderung des Ich begleitet sind.

Es soll im folgenden ebenfalls unsere Aufgabe sein, diese Unterschiede näher zu begründen und die Entwicklung der verschiedenen Zustände nachzuweisen.

I. Die Zeit.

Vierundsiebzigstes Kapitel.

Zeitempfindung und Zeitvorstellung.

Ebenso unmittelbar wie die Qualität und die Intensität ist uns die Zeitlichkeit einer Empfindung gegeben. Jede Empfindung hat eine kürzere oder längere *Dauer*. Von zwei gleichzeitig erregten Empfindungen kann die eine aufhören, während die andere noch fortdauert, und wir empfinden dann den Unterschied der Dauer. Wird die Aufmerksamkeit hauptsächlich auf die Momente gelenkt, wo gewisse Veränderungen des Be-

wußtseinsinhaltes stattfinden, ohne daß wir den Inhalt selbst beachten, werden wir uns des *Intervalles* der beiden Veränderungen bewußt. Dieses Intervall ist einfach gleich der Dauer der zwischen den beiden Veränderungen auftretenden Bewußtseinserscheinungen; werden die letzteren gar nicht bemerkt, völlig unbeachtet, wird das Intervall *leer* genannt.

Aus den unmittelbar empfundenen Dauern der Zustände und der Intervalle zwischen denselben gehen nun zweifellos zuvörderst gewisse konkrete Vorstellungen von größeren Zeitabschnitten hervor.. Das Kind merkt wohl ziemlich früh den Unterschied zwischen dem Tage, wo es spielt, und der Nacht, wo es schläft; als Zeitstrecken werden Tag und Nacht aber kaum aufgefaßt, bevor sich so feste Verknüpfungen zwischen den Erlebnissen haben bilden können, daß das Kind abends erinnert, wie es morgens beschäftigt war. Mit dieser Erinnerung und dem Bewußtsein, daß zwischen Morgen und Abend noch dieses und jenes erlebt worden ist, erhält die Vorstellung *heute* einen zeitlichen Inhalt. Und wenn das Kind heute erinnert, wie ihm das Spielzeug, mit dem es sich amüsiert, *gestern*, d. h. vor dem letzten nächtlichen Schlaf, geschenkt wurde, so dämmert schon die Vorstellung von der Zeit als eine Reihe aufeinander folgender Tage. Diese Vorstellung wird schon vollständiger, wenn das Kind, das — mit dem neuen Spielzeug beschäftigt — nicht zu Bett gehen will, damit getröstet wird, daß *morgen* wieder ein langer Tag kommt, wo es spielen kann. Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft treten hier im kindlichen Bewußtsein auf in der Form aufeinander folgender mit konkretem Inhalt erfüllter Tage.

Auf analoge Weise, wenngleich selbstverständlich später, entwickeln sich die Vorstellungen von den größeren Zeitabschnitten. Durch die Schule erhält die Woche eine hervorragende Bedeutung. Hat das Kind ältere Geschwister, lernt es wohl relativ früh den Unterschied zwischen dem Sonntag und den Wochentagen; eine bestimmte Zeiteinheit wird die Woche aber kaum, ehe das Kind selbst die regelmäßige Arbeit, vom wöchentlichen freien Tag unterbrochen, anfängt. Es ist übrigens nicht unwahrscheinlich, daß das Kind ungefähr in diesem Alter, ja vielleicht noch früher, eine dunkle Vorstellung von der viel größeren Zeitstrecke, dem Jahre, erhält. Die Erwartungen und Freuden des Weihnachtsfestes sind ganz besonders geeignet, sich dem Gedächtnisse einzuprägen, und wenn das Kind sich erinnert, lange vorher schon einmal das-

selbe erlebt zu haben, so hat damit das Jahr als die Zeit zwischen zwei Weihnachten eine bestimmte Bedeutung erhalten.

Wenn schließlich bei wachsender Erfahrung vom konkreten Inhalte der sich wiederholenden kürzeren oder längeren Zeitstrecken abstrahiert werden kann, entsteht die abstrakte Vorstellung von der Zeit als eindimensionalem Kontinuum, das alle Ereignisse einschließt.

Bisher war nur von den verschiedenen Momenten die Rede, die bei der Entwicklung des individuellen Bewußtseins die Entstehung der Zeitvorstellungen herbeiführen können. Viel schwieriger zu beantworten ist die Frage, wie diese Vorstellungen eigentlich beschaffen sind, wie man sich überhaupt die Zeitlichkeit vorstellen kann. Irgend etwas Zeitliches kann die Vorstellung nicht enthalten; wenn die Vorstellung von dem letzten Jahre und den letzten fünf Minuten je etwa eine Sekunde dauert, kann es die Dauer der betreffenden Vorstellung nicht sein, die die Länge der vorgestellten Zeit bestimmt. Es müssen also ganz andere Momente sein; merkwürdigerweise haben die Psychologen sich aber fast nie mit dieser Frage beschäftigt, so daß es sich im allgemeinen nicht beantworten läßt. Ich führe deshalb hier nur einige persönliche Beobachtungen und mir zur Verfügung gestellte Mitteilungen an.

Ich erinnere mich sehr deutlich eines Ereignisses, das etwa heute vor einem Jahre stattfand, d. h. ich sehe die Umgebung und die sich daran beteiligenden Personen, und ich kann in den Hauptzügen die bei dieser Gelegenheit gefallenen Bemerkungen motorisch reproduzieren. Diese Erinnerungsbilder enthalten aber durchaus nichts, woraus hervorgeht, daß das Ereignis eben vor einem Jahre stattfand; es könnte ebenso gut gestern passiert sein. Das verflossene Jahr sehe ich aber ebenfalls; es stellt sich als einen schräg liegenden Ring von ganz unbestimmten Dimensionen dar, dessen oberer heller Teil die Sommermonate, und dessen unterer dunkler Teil die Wintermonate enthält. Ich befinde mich an der Stelle des Ringes, die ungefähr dem heutigen Datum entspricht, und wenn ich auf dem Ringe rückwärts, d. h. vom Frühjahr durch den Winter usw. gehe, komme ich nach einem vollständigen Umlauf zu der Stelle, wo das Ereignis stattfand. Dasselbe visuelle Schema stellt sich auch dann ein, wenn es sich um wenige Jahre oder um Teile eines Jahres handelt. Ist dagegen von vielen Jahren die Rede, z. B. bei den Erlebnissen meiner Jugend, so sehe ich mich einfach in der betreffenden Situation als einen Knaben entsprechenden Alters, und das Bild ist mit meiner gegenwärtigen Lage durch einen sehr langen schwarzen Tunnel verbunden, der die vielen verflossenen Jahre symbolisiert. Bei kurzen Zeiten, wenigen Tagen oder Wochen,

kommen andere visuelle Schemata vor; es würde aber zu weit führen, auf diese Einzelheiten einzugehen.

Wie und wann die erwähnten Zeitvorstellungen entstanden sind, kann ich nicht angeben. Mehrere meiner Mitteiler, die wie ich visuelle Zeitvorstellungen haben, können aber einige ihrer Symbole zu bestimmten Gelegenheiten zurückführen. Herr N. gibt z. B. an, daß er sich eine längere Reihe Jahre stets als eine Person des betreffenden Alters veranschaulicht. Als Kind hörte er die Erzählung von dem in einem Alter von 146 Jahren verstorbenen dänischen Seemann Drakenberg, wie dieser in den letzten 100 Jahren seines Lebens nie nüchtern zu Bett gegangen wäre. Der Bericht machte auf ihn einen solchen Eindruck, daß eine menschliche Gestalt fernerhin das Symbol einer Reihe Jahre wurde. — Herr S. erzählt, daß er als achtjähriges Kind sehr krank war. In seinen Fieberphantasien verwoben sich die gehörten Stundenschläge einer Uhr mit dem wellenförmigen Kajütendach eines Dampfers, und seit dieser Zeit tritt eine Stunde stets als eine Welle hervor, worauf die Minuten wandern.

Es gibt indes auch Personen, die keine visuellen Symbole der Zeitlängen besitzen. Die einzelnen Erlebnisse haben dann „Temporalzeichen“, die kaum zu beschreiben sind. Herr K. berichtet, daß die jüngeren Ereignisse glänzender, stärker gefühlsbetont, die älteren matter, indifferenter sind, und hiernach ordnen sich die Erlebnisse in die Zeitreihe ein. Dem visuell veranlagten ist es recht unverständlich, wie ein bestimmter Zeitraum sich auf diese Weise vorstellen läßt.

Die *Schätzung der Länge* einer eben verflossenen kürzeren Zeit ist im allgemeinen eine recht komplizierte Sache. Beginnt man z. B. kurz nach einer Mahlzeit eine bestimmte Arbeit, so kann man sich an einem beliebigen späteren Zeitpunkte eine ziemlich genaue Vorstellung von der Länge der Arbeitszeit bilden; es tragen aber wenigstens drei verschiedene Faktoren zu dieser Schätzung bei. Erstens spielt die Menge der geleisteten Arbeit eine nicht unwesentliche Rolle; bei einer rein manuellen Beschäftigung, die glatt von der Hand geht kann die Länge der Zeit proportional zur Größe der geleisteten Arbeit gesetzt werden. Bei einer weniger gleichartigen Tätigkeit, die bald stockt, bald wieder schnell fortgeht, wird die Genauigkeit der Beurteilung natürlich stark beeinträchtigt. Hierzu kommen zweitens die sowohl von der Art der Arbeit als von der augenblicklichen Disposition abhängigen Schwankungen der Aufmerksamkeit. Kann die Tätigkeit aus inneren oder äußeren Ursachen fortwährend die Aufmerksamkeit fesseln, so fliegt die Zeit, d. h. man merkt überhaupt nicht, wie schnell sie vergeht. Je öfter die Tätigkeit dagegen stockt, je häufiger die Aufmerksamkeit abgelenkt wird, um so langsamer verläuft die Zeit. Besonders bei solchen Beschäftigungen, die

nur zum Zeitvertreib dienen, läßt es sich leicht beobachten, wie die Zeit uns um so länger wird, je weniger die Beschäftigung uns interessiert; in einer gemütlichen Gesellschaft dagegen vergeht die Zeit nur zu schnell. Wird eine wirkliche Arbeit ausgeführt, werden die beiden Momente, die Größe der Arbeitsleistung und der Zustand der Aufmerksamkeit, sich gewöhnlich widersprechen. Je gleichmäßiger nämlich die Aufmerksamkeit konzentriert ist, um so kürzer erscheint die Zeit; der gleichmäßigen Konzentration entspricht aber, alles übrige gleich, eine größere Leistung, und um so länger erscheint die Zeit. Durch diesen Widerspruch wird die Beurteilung oft recht unsicher.

Zu den beiden erwähnten Faktoren kommt indes noch ein dritter Umstand: der Zustand des Organismus. Mit wachsender Dauer einer Tätigkeit wächst auch die Ermüdung, man wird hungrig usw. Diese verschiedenen Organempfindungen, die unvermeidlich mit der Länge der Zeit an Stärke zunehmen, geben zweifellos meist einen recht zuverlässigen Maßstab der Zeitdauer ab. Sie spielen außerdem bei der absoluten Zeitschätzung die Hauptrolle. Wir wissen unter normalen Verhältnissen ungefähr, an welcher Tageszeit wir uns befinden, ob es Morgen, Mittag, Nachmittag oder Abend ist. Und dies Wissen wird gewöhnlich nicht aus der Tageshelligkeit oder aus den Erinnerungen an die geleistete Arbeit oder an die Mahlzeiten gefolgert, sondern beruht auf Organempfindungen vom gesamten Zustand des Organismus. Es sind besonders die Empfindungen der Eingeweide, die hierbei in Betracht kommen, was daraus hervorgeht, daß diese unmittelbare „Empfindung“ der Tageszeit bei Anästhesie der inneren Organe völlig aufgehoben wird [1]).

Aus den erwähnten Faktoren: der Größe der geleisteten Arbeit, der Konstanz der Aufmerksamkeitsanspannung und den Organempfindungen, resultiert die Vorstellung der eben abgelaufenen Zeitstrecke, die je den Umständen nach einen mehr oder weniger genauen quantitativen Ausdruck erhalten kann. Die Angabe einer bestimmten Stundenzahl ist aber selbstverständlich nur dann möglich, wenn sich eine feste Assoziation zwischen der subjektiven Vorstellung und der entsprechenden objektiven Zeit gebildet hat, was nur durch

---

[1]) D'Alonnes: Rôle des sensations internes. Revue philosophique, Bd. 20, 1905. S. 592 u. f.

Übung, durch eine häufige Kontrolle der Zeitvorstellung mittels der Uhr erreicht wird.

Wenn die zu beurteilende Zeitstrecke weiter in der Zeit zurückliegt, wird ihre Länge sehr oft in der Erinnerung ganz anders als beim Erlebnis aufgefaßt. Von den drei Faktoren, die während des Erlebnisses die Vorstellung der Zeitlänge bestimmen, sind weder die Schwankungen der Aufmerksamkeit noch der organische Zustand später reproduzierbar. Es erübrigt somit nur die Tätigkeit, die Größe der geleisteten Arbeit, von welcher ein einigermaßen genaues Erinnerungsbild zustande gebracht werden kann, und diese Erinnerung wird daher unserer Auffassung der Zeitlänge zugrunde gelegt. Eine Zeit, wo wir sehr beschäftigt waren und viel geleistet haben, wird uns daher in der Erinnerung lang erscheinen, während die Zeit, worin nichts passiert ist, uns kurz vorkommt. Nun sahen wir aber oben, wie die erstere Zeit oft während des Erlebnisses wegen der Aufmerksamkeitsanspannung schnell fliegt, die letzere dagegen uns lang fällt. Die Länge der erinnerten Zeit kann mithin leicht in Widerstreit mit der Länge der erlebten Zeit stehen.

Die Zeitstrecken, die wir im täglichen Leben zu beurteilen haben, sind meistens so lang, daß wir sie uns nur als Vorstellungen der oben erwähnten Art, die eigentlich nichts Zeitliches enthalten, vergegenwärtigen können. Die Zeitdauer einer Wahrnehmung wird aber, wie gesagt, unmittelbar empfunden, und wenn die ganze Dauer nur genügend kurz ist, kann sie ohne irgendwelche vermittelnde Vorstellungen als Einheit empfunden werden. Die Dauer einer solchen eben gegenwärtigen Zeit, *die psychische Präsenzzeit* [1]), läßt sich nicht im allgemeinen angeben, da sie erstens, wie Stern hervorhebt, vom Inhalt der Zeit und zweitens, vielleicht in noch höherem Grade, von der Aufmerksamkeit abhängig ist. *In einem gegebenen Momente gegenwärtig, präsent, ist einfach alles, worauf die Aufmerksamkeit gelenkt ist.* Die Präsenzzeit wird daher um so länger, je mehr es gelingt, die Aufmerksamkeit auf eine Reihe sukzessiver Erscheinungen oder auf ein von zwei Empfindungen begrenztes Intervall zu verteilen. Bei wachsender Länge der Reihe oder des Intervalles kommt schließlich der Punkt, wo das Anfangsglied nicht mehr klar ist, wenn das Schlußglied eintritt; die zeitliche Entfernung dieser beiden Glieder gibt dann die maximale Dauer der Präsenzzeit an. Längere Zeiten

[1]) Stern: Psychische Präsenzzeit. Zeitschr. für Psychol. Bd. 13, S. 327.

können mithin nicht als Einheit empfunden, sondern nur auf irgendeine Weise vorgestellt werden.

In dieser Beziehung gibt es nun zwei verschiedene Möglichkeiten. Darüber herrscht fast allgemeine Übereinstimmung, daß die Zeitdauer, die ohne Anspannung der Aufmerksamkeit wie von selbst sich als Einheit darstellt, um 0,7 Sek. liegt. Längere Zeiten können zwar auch als Einheiten empfunden werden, nur merkt man dann eine mit der Zeitdauer wachsende Anspannung der Aufmerksamkeit [1]), die auch ferner wächst, wenn die einheitliche Zusammenfassung der Zeitstrecke sich nicht mehr durchführen läßt. Die eine Möglichkeit ist nun die, diese Spannungsempfindungen als Maß der Zeitdauer anzuwenden, und wenn man dies tut, geht also die empfundene Zeit ganz gleichmäßig in die mittels der Spannungsempfindungen nur vorgestellte Zeit über. Es ist aber auch möglich, sobald die Zeitstrecke nur mit einer gewissen Anstrengung aufgefaßt werden kann, sich die Zeitdauer auf irgendeine andere Art und Weise, mittels Gesichtsbilder, Bewegungsbilder od. dgl. vorzustellen. In diesem Falle steht zu erwarten, daß ein nicht unwesentlicher Unterschied zwischen der empfundenen und der vorgestellten Zeit sich zeigen wird, weil sie auf ganz verschiedene Weise aufgefaßt werden.

Daß es sich tatsächlich so verhält, geht zweifellos aus den zahlreichen vorliegenden Untersuchungen über die Unterscheidung kurzer Zeitstrecken hervor. Diese Versuche zeichnen sich durch die Eigentümlichkeit aus, daß es bis jetzt wohl keine zwei Beobachter gibt, die zu übereinstimmenden Ergebnissen gekommen sind. Die Experimente sind meistens auf die Weise ausgeführt, daß zwei leere, von einfachen Schallreizen begrenzte Intervalle verglichen worden sind, wobei es sich herausgestellt hat, daß die objektiv gleich langen Intervalle gewöhnlich nicht als gleich aufgefaßt werden und mithin die subjektiv einander gleich geschätzten Zeitstrecken eine bestimmte Differenz aufweisen. Wenn das zuzweit angegebene Intervall größer als das zuerst angegebene gemacht werden muß, um subjektive Gleichheit zu erzielen, so wird also das letztgenannte überschätzt, und die Differenz, der konstante Fehler, wird positiv gerechnet. Fällt der konstante Fehler dagegen negativ aus, so erscheint das zuerst angegebene Intervall verkleinert. Als Indifferenzpunkt bezeichnet man die Zeit-

---

[1]) Katz, Zeitschr. für Psychol. Bd. 42, S. 309 u. f.

dauer, die weder über- noch unterschätzt wird, so daß die objektiv gleich großen Intervalle auch als gleich erscheinen; der konstante Fehler ist hier Null.

Die Resultate der vor 1889 ausgeführten Untersuchungen sind von Münsterberg treffend in den folgenden Worten angegeben: „Der konstante Fehler der Zeitschätzung ist nach dem einen nur Produkt zufälliger Umstände, nach dem anderen aber Resultat gesetzmäßiger Überschätzung resp. Unterschätzung, und zwar werden dem einen zufolge Zeiten unter 3 Sek. vergrößert, über 3 Sek. verkleinert, einem anderen zufolge Zeiten unter 3/4 Sek. vergrößert, darüber verkleinert, oder dem dritten zufolge werden nicht nur die kleinen Zeiten, sondern auch die großen über 5 Sek. vergrößert. Die Unterschätzung führt nun zu relativen Maximalwerten, welche, wie der erste festgesfellt hat, bei sämtlichen Multiplen von 0,7 Sek. liegen, oder, wie der zweite herausbekommen hat, bei den geradzahligen Multiplen von 0,7 Sek. liegen, während bei den ungeradzahligen stets Minimalwerte zu treffen sind, oder, wie der Dritte ermittelte, auf die Multiplen von 1,25 Sek. fallen. Bezüglich des Weberschen Gesetzes aber kann als sichergestellt gelten, daß es entweder für den Zeitsinn gar keine Gültigkeit hat oder unbedingte Gültigkeit hat oder für die kleineren Zeiten gilt und nicht für die größeren oder für die großen, aber nicht für die kleinen [1]).“

Der erwähnte Widerspruch der zahlreichen älteren Versuche rührt nun zum Teil von den verschiedenen Versuchsanordnungen her; daß aber außerdem andere Faktoren mitwirkten, geht daraus hervor, daß neuere Untersuchungen, die in technischer Beziehung keine wesentlichen Differenzen aufweisen, dennoch fast ebenso wie die älteren sich widersprechen. Schumann fand nämlich, daß ihm die Intervalle zwischen 0,1 und 0,7 Sek. verkleinert erschienen [2]); Hüttners Versuche ergaben unregelmäßig schwankende Werte des konstanten Fehlers zwischen 0,1 und 3 Sek. für einen Beobachter, dagegen konstante Überschätzung des ersten Intervalles zwischen 0,1 und 0,6 Sek. für einen anderen [3]). Katz schließlich fand durchweg bei kleinen Intervallen eine Überschätzung des ersten Inter-

---

[1]) Beiträge zur exper. Psychol. Heft 2, Freiburg 1889. S. 13, wo eine eingehende geschichtliche Darstellung dieser Untersuchungen gegeben ist.

[2]) Zeitschr. für Psychol. Bd. 4, S. 63.

[3]) Zur Psychol. des Zeitbewußtseins, in Martius: Beiträge zur Psych. Bd. 1, S. 397. 1902.

valles, um 0,6 Sek. einen Indifferenzpunkt und bei größeren Intervallen eine Unterschätzung des ersten Intervalles [1]). Da bei den hier berücksichtigten neueren Untersuchungen die Versuchsanordnung in der Hauptsache dieselbe war, können die gefundenen Unterschiede nur von den verschiedenen Beurteilungsweisen herrühren. Obwohl nun Meumann schon längst nachgewiesen hat, wie bei der Vergleichung von Zeitstrecken ganz verschiedene Verhältnisse entscheidend werden, wenn es sich um kleinste, mittlere oder größere Intervalle handelt, und wie besonders bei den letzteren die erfüllenden Empfindungen von großer Bedeutung sind [2]), kommen dennoch bei den späteren Experimentatoren nur wenige positive Angaben hierüber vor. Dies ist indes leicht verständlich, da es tatsächlich äußerst schwierig ist, zu entscheiden, wie man sich eigentlich eine größere Zeit (3–10 Sek.) vorstellt, die man als Einheit nicht auffassen kann. *In den weitaus häufigsten Fällen merkt man nur die mit der Zeit wachsende Anspannung der Aufmerksamkeit, um störende Vorstellungen zu hemmen,* und nur ausnahmsweise — wenn man nicht willkürlich Taktierbewegungen oder dergleichen zu Hilfe nimmt — wird man sich anderer mitwirkender Empfindungen oder Vorstellungen bewußt.

Um nähere Aufschlüsse über die bei der Zeitvergleichung möglicherweise mitwirkenden Vorstellungen und ihre Einflüsse auf die Resultate des Vergleichs zu erhalten, habe ich eine größere, fast ein Jahr dauernde Versuchsreihe mit fünf Versuchspersonen angestellt.

Die spezielle Psychologie des Zeitsinns war meinen Versuchspersonen unbekannt, und die Instruktion ging nur darauf aus, daß Zählen und Taktierbewegungen beim Vergleich untersagt waren: welche Hilfsmittel sie sonst anwandten, sollte genau angegeben werden. Um den Zeitvorstellungen möglichst freies Spiel zu geben, wurde nur mit leeren Intervallen, die unmittelbar aufeinander folgten, gearbeitet. Die Intervalle wurden durch Telephonknälle begrenzt. In dem einen Zimmer war ein mit drei Momentankontakten versehener Meumann'scher Kontaktapparat aufgestellt, der mittels eines Motors in sehr gleichmäßige Rotation gesetzt wurde. Der vom Zeiger des Apparates geschlossene Strom von etwa 4 Amp. ging zur Primärrolle eines im Nachbarzimmer aufgestellten Induktionsapparates, dessen Sekundärrolle mit einem über der Mitte eines Tisches frei hängenden Telephon verbunden war. Der Unterbrecher der Primärrolle war ausgeschaltet, so daß jeder Stromschluß im Telephon nur einen äußerst kurzen Knall von solcher Stärke hervorrief, daß er von den fünf

[1]) Zeitschr. für Psychol. Bd. 42, S. 418.
[2]) Phil. Stud. Bd. 9, S. 266 u. f.

um den Tisch sitzenden Versuchspersonen ohne Schwierigkeit gehört wurde. Durch Regulierung der Feder der Momentankontakte konnte eine sehr konstante Schallstärke erzielt werden.

Sämtliche Bestimmungen wurden nach der Konstanzmethode ausgeführt. Die Versuche im Herbste 1908 umfaßten die Zeiten 700, 1400, 2100, 2800, 4200 und 6300$^\sigma$; sie hatten den doppelten Zweck, den Versuchspersonen erstens die nötige Übung und zweitens Gelegenheit zur Selbstbeobachtung zu geben. Eben mit Rücksicht hierauf wurden die verschiedenen Zeiten gewählt; bei 700$^\sigma$ kommt die einheitliche Zeitauffassung von selbst zustande; bei 1400$^\sigma$—2800$^\sigma$ wird sie immer schwieriger, und bei den größten der angewandten Zeiten ist sie unmöglich. Auf die quantitativen Ergebnisse dieser Versuche, die natürlich wegen fehlender Übung recht unsicher waren, gehe ich im folgenden nur ausnahmsweise ein. Im Frühjahr 1909 wurden die Zeiten 500, 600, 700, 800, 900$^\sigma$ und 2000, 2400, 2800, 3200, 3600$^\sigma$ untersucht, um quantitative Ausdrücke der verschiedenen Beurteilungsweisen zu erhalten. Bei $N = 700^\sigma$ waren die Vergleichsreize 625, 640, 655, 670, 685, 700, 715, 730, 745, 760 und 775$^\sigma$ und bei jeder der übrigen Normalzeiten diesen Zahlen proportional, also z. B. bei $N = 2000$ $\frac{20}{7}$ mal die angeführten Werte. Die Vergleichsreize wurden in auf- und absteigenden Reihen dargeboten, und jede Reihe umfaßte zehn Versuche. Es wurden aber die aufsteigenden Reihen entweder mit 625 oder mit 640, die absteigenden entweder mit 775 oder mit 760 angefangen, und die Hälfte der Reihen enthielten zehn aufeinander folgende Vergleichsreize, während in den übrigen jeder zweite Reiz überschlagen wurde, so daß sie sowohl auf- als absteigend waren. Auf diese Weise gelang es, die Vorteile der unwissentlichen Methode mit denjenigen der regelmäßigen Variation der Vergleichsreize zu kombinieren. Bei jeder der untersuchten Normalzeiten wurden 16 Vollreihen durchgemacht, so daß von jeder Versuchsperson 160 Urteile abgegeben wurden. Hieraus ließen sich dann sowohl die obere als die untere Unterschiedsschwelle und das der Normalzeit gleich geschätzte zweite Intervall berechnen.

Die Ergebnisse der Selbstbeobachtung waren recht dürftig. Die Versuchsperson *R* gab an, daß sie sich anfangs den vom Zeiger des Rotationsapparates mit konstanter Geschwindigkeit beschriebenen Kreisbogen vorstellte und das Urteil groß resp. klein abgab, je nachdem der im zweiten Intervall zurückgelegene Bogen größer resp. kleiner als der im ersten Intervall beschriebene war. Dieses Anschauungsbild wurde aber bald als ganz unnütz aufgegeben. Bei den Versuchen des zweiten Halbjahres bemerkte die Versuchsperson *Ru.*, wie sie bei den Zeiten 3200 und 3600$^\sigma$, die der normalen Atmungsperiode eines ruhig sitzenden Menschen entsprechen, unwillkürlich diese Periode als Maß der Zeit benutzte. Wie wir

sofort sehen werden, weichen die Ergebnisse bei diesen Zeiten von den übrigen recht erheblich ab, und nicht nur die der Versuchsperson *Ru.*, sondern auch die der meisten anderen. Es ist also recht wahrscheinlich, daß sämtliche Versuchspersonen, obwohl sie es nicht bemerkten, sich dennoch bei der Beurteilung der erwähnten Zeiten auf die Atmungsperiode stützten. Da die Resultate sämtlicher Versuchspersonen übrigens im großen und ganzen übereinstimmen, darf wohl angenommen werden, daß sie neben der Aufmerksamkeitsanspannung keine besonderen Hilfsmittel beim Vergleich der Zeiten angewandt haben.

Tabelle 45.

$N=$	500	600	700	800	900	2000	2400	2800	3200	3600
Aa.	— 21	— 15	— 15	— 24	— 20	— 17	— 46	+ 13	+ 49	— 79
F.	— 7	— 3	+ 1	— 3	— 11	— 39	— 27	— 45	+ 45	— 33
R.	— 3	— 2	— 2	— 4	— 4	+ 9	+ 11	— 7	+ 10	+ 17
H.	— 9	— 9	— 4	— 8	— 7	— 40	— 14	— 20	— 58	— 42
Ru.	— 1	— 5	+ 3	+ 4	+ 3	— 17	— 6	— 4	+ 61	+ 61

Die quantitativen Resultate der Versuche sind in den Tab. 45 und 46 angeführt; die erstere enthält die Werte des konstanten Fehlers, die letztere die der U-E. Der konstante Fehler ist durchweg negativ; die meisten dieser Werte sind aber so klein, daß sie als zufällig anzusehen sind. Selbst 160 Einzelbestimmungen reichen natürlich nicht aus, um alle Zufälligkeiten auszugleichen, und es muß daher stets eine Differenz zwischen der gegebenen Normalzeit und der derselben gleich geschätzten Vergleichszeit gefunden werden. Diese Differenz wird um Null schwanken, wenn sie nur von unausgeglichenen Zufälligkeiten herrührt, und wir sehen aus der Tab. 45, daß kleine positive Werte, wenngleich seltener als die negativen, vorkommen. Nur die Versuchsperson *Aa.*, deren Werte überhaupt recht schwankend sind, hat bei 500 bis 900^{σ} negative Werte des konstanten Fehlers, die sich als unausgeglichene Zufälligkeiten nicht ansehen lassen. Von 2000 bis 3600^{σ} dagegen sind die negativen Werte im allgemeinen so groß, daß eine Unterschätzung des ersten Intervalles hier zweifellos wird. Nur bei den Zeiten 3200^{σ} und 3600^{σ} kommen recht große positive Werte vor; hier wurde aber, wie schon erwähnt, von der Versuchsperson *Ru.* die Atmungsperiode als

Zeitmaß angewendet, und es ist daher recht wahrscheinlich, daß die Veränderung des konstanten Fehlers eben hiervon herrührt, und daß dieselbe Ursache auch bei den drei anderen Versuchspersonen dieselbe Wirkung gehabt hat.

Tabelle 46.

$N=$	500	600	700	800	900	2000	2400	2800	3200	3600
Aa.	1,050	1,035	1,038	1,041	1,030	1,039	1,032	1,055	1,035	1,032
F.	1,024	1,020	1,020	1,028	1,022	1,026	1,018	1,021	1,020	1,019
R.	1,023	1,018	1,018	1,020	1,018	1,020	1,018	1,023	1,021	1,018
H.	1,025	1,015	1,016	1,016	1,016	1,011	1,008	1,011	1,009	1,007
Ru.	1,021	1,023	1,012	1,007	1,016	1,015	1,013	1,016	1,008	1,026

Betrachten wir die U-E (Tab. 46), finden wir die Werte ziemlich groß und schwankend für die Versuchsperson *Aa.*, für *F.* und *R.* dagegen merkwürdig konstant von 500^σ bis 3600^σ. Dasselbe gilt zum Teil auch für *H.* und *Ru.*, nur sinken die Werte der letzteren bei 800^σ und $4 \cdot 800 = 3200^\sigma$ auf 1,007 resp. 1,008 herab. Diese plötzlich eintretende, äußerst feine U-E steht wahrscheinlich wiederum mit der Atmungsperiode in Verbindung, da 800^σ eben ein Viertel dieser Periode ist. Ob das analoge Sinken der Werte für die Versuchsperson *H.* bei 600, $4 \cdot 600 = 2400^\sigma$ und $6 \cdot 600 = 3600^\sigma$ ebenfalls auf Rechnung der Atmung zu setzen ist, kann wohl zweifelhaft sein; es muß aber dann gewiß ein besonderes Maß in Anwendung gebracht worden sein, worüber die Versuchsperson indes nichts hat angeben können.

Tabelle 47.

	Unterschiedsempfindlichkeit						Konstanter Fehler					
$N=$	700	1400	2100	2800	4200	6300	700	1400	2100	2800	4200	6300
R.	1,032	1,052	1,034	1,036	1,040	1,036	— 8	— 36	— 19	— 24	— 79	—150
F.	1,044	1.041	1,047	1,050	1,050	1,057	— 6	— 35	— 38	— 46	— 58	—108

Aus den Versuchen des ersten Halbjahres geht hervor, daß *F.* und *R.*, die am gleichmäßigsten schätzten, bis 6300^σ eine fast konstante U-E. zeigen (Tab. 47). Die Werte sind hier größer als die der Tab. 46, weil die Versuchspersonen noch ganz ungeübt waren; der konstante Fehler ist durchweg negativ.

Als Resultat dieser Versuche sowie der erwähnten früheren Untersuchungen läßt sich wohl jetzt als einigermaßen sicher feststellen: *Beim Vergleich leerer Intervalle werden die unmittelbar empfundenen Zeiten (um 700$^{\sigma}$) weder über- noch unterschätzt, die größeren, nur vorgestellten Zeiten dagegen durchweg unterschätzt, wenn ausschließlich die Anspannung der Aufmerksamkeit als Zeitmaß angewandt wird. Unter dieser Bedingung kann die U-E. auch bis etwa 6 Sek. konstant sein. Sobald aber besondere Zeitvorstellungen als Hilfsmittel eingeführt werden, können sich ganz andere Resultate ergeben.*

Der Umstand, daß das Weber'sche Gesetz innerhalb gewisser Grenzen für die Zeitauffassung gültig ist, wenn die Anspannung der Aufmerksamkeit der Beurteilung der Zeitstrecken zugrunde gelegt wird, scheint mir darauf hinzudeuten, daß es einfach die Intensität der Spannungsempfindungen ist, die verglichen wird. Nur wo es sich um das Unterscheiden intensiv verschiedener Empfindungen handelt, hat das Gesetz eine bestimmte Bedeutung, und nur unter dieser Bedingung ist daher zu erwarten, daß es sich gültig erweisen wird.

Werden ausgefüllte Intervalle oder. mit anderen Worten. Empfindungen in bezug auf ihre Dauer verglichen, können die Verhältnisse je den Umständen nach recht kompliziert werden. Besonders schwierig wird die Vergleichung, wenn die zu vergleichenden Empfindungen verschiedener Art sind.

Fünfundsiebzigstes Kapitel.

Der Rhythmus.

Bei der Auffassung der kürzesten Intervalle (kleiner als 0,5 Sek.), von denen bisher keine Rede gewesen ist, spielen die die Zeitstrecken begrenzenden Empfindungen die Hauptrolle [1]). Die Zeiten sind nämlich so kurz, daß die begrenzenden Empfindungen einen nicht unerheblichen Teil der Strecke ausfüllen, und das Intervall als solches tritt im Bewußtsein fast völlig zurück. Es ist daher verständlich. daß einfache Intensitätsunterschiede der begrenzenden Empfindungen einen wesentlichen Einfluß auf die scheinbare Dauer der Intervalle ausüben. Selbst mit den äußerst kurzen Telephonknallen läßt es sich leicht konstatieren, daß eine Folge von intensiveren Schallen

[1]) Meumann, Phil. Stud. Bd. 9, S. 266 u. f.

schneller erscheint als eine objektiv gleich schnelle, jedoch aus schwächeren Schallen bestehende Reihe. Nimmt ferner in einer Reihe die Intensität der Schalle allmählich zu, so erscheint die Reihe beschleunigt trotz der konstanten Intervalle der Schalle. Wird schließlich in eine Reihe schwacher Schalle ein starker Schall eingeschaltet, wird das dem starken vorhergehende Intervall dem Anschein nach verkürzt, das nachfolgende dagegen verlängert[1]).

Über diese eigentümlichen Zeittäuschungen, durch die verschiedenen Intensitäten einer Reihe von Schallen hervorgerufen, herrscht vorläufig allgemeine Einigkeit. Werden dagegen nur zwei kurze Intervalle (um 300^{σ}) verglichen, so verändert sich die scheinbare Länge derselben zweifellos auch, wenn die Intensität der begrenzenden Schalle variiert; über die Richtung dieser subjektiven Veränderung der Intervalle gehen die Auffassungen aber weit auseinander. Sind z. B. die das erste Intervall begrenzenden Schalle gleich stark, während das zweite Intervall durch einen intensiveren Schall abgeschlossen wird (1—2—3́), so wird das zweite Intervall nach der Auffassung einiger Beobachter subjektiv verlängert[2]), nach der Meinung anderer dagegen verkürzt[3]), während wiederum andere bald Verlängerung, bald Verkürzung oder Gleichheit finden[4]). In Sachen der Zeitschätzung ist Einigkeit, wie ersichtlich, nicht gar zu häufig. Im erwähnten sowie in den analogen Fällen müssen selbstverständlich andere Momente als eben die Stärkeverhältnisse mitwirken, was sich denn auch leicht nachweisen läßt.

Wenn eine Reihe Schallreize, die qualitativ und intensiv gleich sind, mit konstanten, höchstens 400^{σ} dauernden Intervallen aufeinander folgen, so findet bei den meisten Individuen eine unwillkürliche *Rhythmisierung* der Empfindungen statt, d. h. einige der Schallempfindungen werden dem Anschein nach intensiver als die anderen, und diese subjektive Verstärkung oder Betonung der Empfindungen wiederholt sich periodisch. Mit dem Wechseln der Intensität treten konstant auch Zeittäuschungen ein, indem das Intervall zwischen dem betonten und einem unbetonten Schalle sich anscheinend verkürzt, wodurch die ganze Reihe sich in Gruppen zerlegt. Die einzelnen

[1]) Meumann, a. a. O. S. 274.
[2]) Meumann, a. a. O. S. 297.
[3]) Schumann, Zeitschr. für Psychol. Bd. 18, S. 33.
[4]) Hüttner, a. a. O. S. 377.

Gruppen sind dann dem Anschein nach durch längere Pausen voneinander getrennt [1]). Der einfachste und wohl am häufigsten stattfindende Fall ist der, daß alle zwei Schalle betont werden, und daß das Intervall zwischen dem betonten und dem folgenden unbetonten Schall verkürzt erscheint. Dann tritt die subjektive Pause nach jedem unbetonten Schalle ein: 1́, 2 — 3́, 4 — 5́, 6 —. Seltener fängt die Gruppe mit dem unbetonten Schalle an: 1, 2́ — 3, 4́ —. Zuweilen kommt ein Unterschied der Betonungen vor, indem z. B. die Schalle 1, 5, 9, . . . stärker betont als 3, 7, 11, . . . werden; in diesem Falle werden vier Schalle in eine Gruppe zusammengefaßt: 1̋, 2 — 3́, 4 — 5̋, 6 — 7́, 8 —, und solche komplizierten Gebilde fangen fast immer mit dem stärker betonten Schalle an.

Die Rhythmisierung findet, wie gesagt, bei den meisten Menschen unwillkürlich statt; sie kann aber auch willkürlich eingeleitet werden, und eine scharfe Grenze zwischen diesen beiden Fällen ist kaum zu ziehen. Besonders kommt es nicht selten vor, daß die Schallreihe zwar anfängt, sich rhythmisch zu zergliedern, daß der so auftretende Rhythmus aber der Geschwindigkeit der Schallreihe nicht völlig entspricht und daher willkürlich umgemodelt wird, bis eine vollständige Korrespondenz erreicht worden ist. Daß ein solches Verfahren nahe liegt, geht daraus hervor, daß die rhythmische Gliederung einer gegebenen Reihe fast ausschließlich von der Geschwindigkeit derselben abhängig ist. Als Resultat einer sehr großen Anzahl Versuche, wo die Versuchspersonen denjenigen Rhythmus zu bestimmen hatten, der einer gegebenen Schallreihe am angemessensten war, fand Bolton, daß eine rhythmische Gruppenbildung unmöglich wurde, wenn das Intervall der sukzessiven Schalle mindestens 1.581 Sek. war, und ferner zeigte sich die durchschnittliche Länge einer

2-gliederigen	Gruppe	1,590	Sek.;	mittl.	Variat.	0,328	Sek.
3-	„	1,380	„	„	„	0,204	„
4-	„	1,228	„	„	„	0,068	„
6-	„	1,014	„	„	„	0,028	„
8-	„	1,160	„	„	„	0,025	„

Die angeführten Zahlen geben die Zeiten vom Anfang einer Gruppe bis zum Anfang der nächsten an; die Pause ist somit zur Gruppenlänge mitgerechnet [2]). Aus diesen Versuchen

[1]) Meumann, Phil. Stud. Bd. 10, S. 302 u. f.

[2]) Bolton: Rhythm. Americ. Journ. of Psychol. Bd. 6, S. 214.

geht also hervor, daß um so mehr Glieder einer Schallreihe durch wechselnde subjektive Betonung zusammengefaßt werden, je größer die Geschwindigkeit ist, und daß die Länge der sich wiederholenden Gruppen zwischen 1,0 und 1,6 Sek. liegt. Diese Dauer entspricht aber eben der Länge der psychischen Präsenzzeit bei mittlerer Anspannnung der Aufmerksamkeit. Die Bedeutung des Rhythmus ist somit leicht verständlich. *Durch die verschiedene subjektive Betonung der Schalle und die damit folgende verschiedene Länge der Intervalle teilt sich die Schallreihe in gleichartige Gruppen solcher Größe, daß die während der psychischen Präsenzzeit gegebenen Schalle einheitlich zusammengefaßt werden können.* Was also eben im Bewußtsein gegenwärtig ist, wird als Einheit aufgefaßt, und diese Einheit wiederholt sich regelmäßig. Hierdurch wird die Auffassung der schnell aufeinander folgenden Empfindungen, die ohne Rhythmisierung recht schwierig ist, so stark erleichtert, daß der Zustand gewöhnlich lustbetont wird.

Es ist übrigens sehr fraglich, ob die erwähnten Betonungs- und Zeitdifferenzen schon ausreichen, um einen Rhythmus zustande zu bringen. Mit der Auffassung eines Rhythmus ist stets eine fast unwiderstehliche Tendenz verbunden, die rhythmische Gliederung der Schallreihe mit entsprechenden Bewegungen der Hand, des Fußes, des Kopfes usw. zu begleiten. Versucht man es ferner, eine gegebene Schallreihe willkürlich zu rhythmisieren, so wird man finden, besonders wenn ein schwieriger, drei- oder sechsgliedriger Rhythmus hineingelegt werden soll, daß dies erst in dem Augenblick gelingt, wo die betreffenden Taktierbewegungen sich der Schallreihe anpassen. Es ist daher höchst wahrscheinlich, daß die sensorisch-rhythmischen Betonungsdifferenzen nur dann zustande kommen können, wenn sie durch motorische Momente, Bewegungsempfindungen, unterstützt werden. [1])

Unter dieser Voraussetzung wird es verständlich, daß es Menschen gibt, deren Zeitauffassung nichts zu wünschen übrig läßt, denen aber die Auffassung des Rhythmus abgeht. Diese Menschen sind wohl immer in motorischer Beziehung schwerfällig, so daß der fehlende Sinn für Rhythmus von einer mangelhaften Verknüpfung der sensorischen und motorischen Momente herrührt.

---

[1]) Smith: Rhythmus und Arbeit. Phil. Stud. Bd. 16, S. 279.

II. Der Raum.

Sechsundsiebzigstes Kapitel.

Raumempfindung und Raumwahrnehmung.

Es wurde schon oben (S. 178) hervorgehoben, daß die meisten Empfindungen eine gewisse räumliche Ausdehnung haben, die unmittelbar mit den übrigen Dimensionen der Empfindung gegeben ist. Es ist somit berechtigt, eine *Raumempfindung* zu behaupten, nicht als eine besondere Art der Empfindungen, sondern als etwas mit der Qualität, Intensität usw. Empfundenes. Die Dimension der Ausdehnung der Empfindungen ist indes auf einigen Sinnesgebieten sehr wenig hervortretend. Während den Farben-, Druck-, Temperatur- und Stichempfindungen eine ausgesprochene und je nach der Reizung stark variierende Ausdehnung anhaftet, tritt die räumliche Extensität der Ton-, Geschmacks- und Muskelempfindungen eigentlich nur beim Vergleich extremer Fälle hervor, und bei den Geruchs- und Bewegungsempfindungen kann ich von der Ausdehnung nichts spüren. Die Empfindungen der vegetativen Vorgänge schließlich sind in dieser Beziehung ebenfalls recht verschieden, indem z. B. die von der Verdauung und den vasomotorischen Veränderungen herrührenden Empfindungen zweifellos eine räumliche Ausdehnung besitzen, während dieselbe bei den übrigen nur ausnahmsweise hervortritt. Dieser Unterschied der Empfindungen in bezug auf die räumliche Ausdehnung erfordert natürlich eine Erklärung; um Wiederholungen zu vermeiden, lassen wir aber bis auf weiteres das Problem dahingestellt sein, da wir im folgenden Tatsachen kennen lernen werden, die uns zu einer eingehenderen Behandlung der Frage nötigen (vgl. S. 644).

Obwohl also die Empfindungen der meisten Sinnesmodalitäten mehr oder weniger ausgesprochen die Dimension der Räumlichkeit besitzen, sind es jedenfalls nur zwei Gruppen von Empfindungen, die zu einer genaueren *Raumwahrnehmung* führen, nämlich einerseits die Gesichtsempfindungen und anderseits die Hautempfindungen. Von den letzteren sind es wiederum vornehmlich die Druckempfindungen, die stets bei der Berührung der Objekte entstehen: Stichempfindungen kommen nur bei extremer Druckstärke, Temperaturempfindungen nur bei gegebener Temperaturdifferenz vor, und ihre Bedeutung für die Raumauffassung ist fast gar nicht untersucht. Wir behandeln daher ausschließlich die mittels der

Gesichtsempfindungen und der Tastempfindungen zu erzielenden Raumwahrnehmungen, die gewöhnlich als der *Gesichtsraum*, resp. *Tastraum* bezeichnet werden.

Daß es einen Gesichtsraum und einen Tastraum gibt, ist über jeden Zweifel erhaben; fraglich ist nur, wie sie zustande kommen. Während die sogenannte *nativistische* Theorie, der wir uns hier anschließen, davon ausgeht, daß die räumliche Ausdehnung unmittelbar mit den betreffenden Empfindungen gegeben ist, nimmt die *genetische* Theorie an, daß die Raumauffassung vermittelt wird durch Bewegungsempfindungen und andere Faktoren, die zu neuen psychischen Gebilden, den Raumwahrnehmungen, verschmelzen. Gegen diese Theorie sind hauptsächlich zwei Einwände erhoben. Erstens stellt sie die ganze psychische Entwicklung auf den Kopf. Wir finden sonst überall, wo die individuelle Entwicklung sich nachspüren läßt, daß die Analyse eines Komplexes erst nach und nach gelingt; anfangs erhalten wir nur einen allgemeinen Eindruck und bemerken die augenfälligen Hauptzüge, um dann allmählich die feineren Einzelheiten zu entdecken. Der genetischen Theorie zufolge soll es sich bei der Auffassung räumlicher Extensitäten gerade umgekehrt verhalten: das Kind empfinde die verschiedenen Bewegungen der Augenmuskeln und der Glieder, die allmählich verschmelzen und als räumliche Ausdehnungen interpretiert werden. Warum sie aber verschmelzen, und auf welcher Stufe der Verschmelzung sie von den völlig neuen psychischen Erscheinungen, den Raumwahrnehmungen, ersetzt werden, sind naheliegende, aber kaum zu beantwortende Fragen. Zweitens sind die angeblich verschmolzenen Bewegungsempfindungen gar nicht verschwunden, zu Raumwahrnehmungen geworden. Wir bemerken sie zwar nicht im täglichen Leben, wo die Beobachtung der Dinge und ihrer gegenseitigen räumlichen Beziehungen uns vielmehr als die dadurch entstehenden Bewegungsempfindungen interressieren. Sobald wir aber die Aufmerksamkeit z. B. auf die bei der Wahrnehmung des Gesichtsraumes erregten Bewegungsempfindungen lenken, sind die Muskelspannungen unschwer zu bemerken. Wenn die Muskelempfindungen aber merklich sind, können sie nicht gleichzeitig zu Raumwahrnehmungen verschmelzen, und die genetische Theorie ist daher kaum stichhaltig.

Wir können also davon ausgehen, daß die räumliche Ausdehnung ebenso unmittelbar den betreffenden Empfindungen anhaftet wie die übrigen Dimensionen, daß sie einfach emp-

funden wird. Damit soll aber gar nicht behauptet sein, daß wir zugleich eine genaue Auffassung von der Größe dieser Ausdehnung und noch weniger von der Lage der Empfindungsursache, des Reizes, im Raume haben. Solche Bestimmungen, die der Erwachsene tatsächlich mit einer erheblichen Genauigkeit ausführen kann, erfordern besondere Hilfsmittel, und aller Wahrscheinlichkeit nach werden sie eben durch die Spannungs- und Bewegungsempfindungen vermittelt. Das psychologisch Ursprüngliche kann nur das jedenfalls alle Gesichts- und Tastempfindungen begleitende Empfindungsmoment der Ausdehnung sein: von oben nach unten, von links nach rechts, von vorn nach hinten. Auf diesem Punkte trennen sich übrigens die Nativisten, indem einige nur die Empfindung des Flächenartigen als ursprünglich zugeben, während andere dagegen es jedenfalls als wahrscheinlich ansehen, daß die empfundene Ausdehnung sämtliche drei Dimensionen habe. Als Stütze der ersteren Annahme wird gewöhnlich hervorgehoben, daß sich die Außenwelt auf die Netzhaut nur als zweidimensionales Bild zeichnen kann; ob ein Ding sich aber in größerer oder geringerer Entfernung vom Auge befindet, kann das Netzhautbild nicht beeinflussen und also nicht unmittelbar empfunden werden. Es wird jedoch dabei übersehen, daß das Auge allerdings das wichtigste, aber nicht das einzige Organ ist, das Raumwahrnehmungen vermittelt, und besonders beim kleinen Kinde spielen die Tastempfindungen in dieser Beziehung eine relativ große Rolle. Der Säugling greift nach allem, was er sieht, und die in Greifweite vorkommenden Gegenstände fesseln gewöhnlich leichter seine Aufmerksamkeit als die entfernteren. Wenn die Hand aber ein Ding umfaßt, ist die empfundene Ausdehnung eine dreidimensionale. Selbstverständlich hat der Neugeborene keine Ahnung weder von den zwei Dimensionen des Gesichtsraumes noch von den drei Dimensionen des Tastraumes oder vom Unterschied zwischen den beiden Verhältnissen. Da aber schon von der Geburt an neben den flächenhaften Gesichtsbildern auch die „körperhaften" Tastbilder gegeben sind, ist die Tiefendimension des Raumes ebenso ursprünglich wie die beiden anderen. Und die Tastempfindungen müssen bei der Entwicklung der Raumwahrnehmung besonders dazu beitragen, daß die Verhältnisse, die die Tiefendimension des Gesichtsraumes vermitteln, als räumliche Ausdehnung interpretiert werden. Wäre mit den Tastempfindungen eine dreidimensionale Ausdehnung nicht unmittelbar empfunden worden, würden wir gewiss nie darauf

kommen, die Konvergenzbewegungen der Augen als räumliche Entfernung zu deuten.

Von der vagen Raumempfindung des kleinen Kindes zur genauen Raumwahrnehmung des Erwachsenen führt nur die Übung. Die zahlreichen verschiedenartigen Bewegungsempfindungen, die mit dem Sehen und dem Tasten verbunden sind, verschmelzen zwar nicht, wie die genetische Theorie annimmt, zur Raumauffassung, sie sind aber die Maßstäbe, mittels deren wir die räumlichen Entfernungen ausmessen, so daß eine wirkliche Wahrnehmung der Raumverhältnisse zustande kommt. Damit dies stattfinde, muß das Kind erstens die Maßstäbe anzulegen und zu handhaben lernen, d. h. es muß seiner verschiedenen Bewegungen Herr werden, und zweitens muß es das Verhältnis zwischen den Angaben der verschiedenen Maßstäbe kennen lernen, so daß sie vergleichbar werden. Wie die erste Aufgabe gelöst wird, wurde schon oben (S. 581) erwähnt. Gegen Ende des ersten halben Jahres kann das Kind meistens die Hände und Arme einigermaßen sicher willkürlich bewegen, die Dinge ergreifen und in den Mund führen. Und drei Monate später können die meisten Kinder, auf den Fußboden gesetzt, rutschend oder kriechend sich vorwärts bewegen. Gleichzeitig lernt das Kind die Gegenstände fixieren.

Wie im folgenden näher nachgewiesen werden soll, wird ein Ding nur dann deutlich gesehen, wenn die Blicklinien sich in dem Punkte des Raumes schneiden, wo das Ding sich befindet. Eine solche Fixation irgendeines Punktes erfordert sowohl willkürliche als reflektorische Bewegungen. Wie alle anderen willkürlichen Bewegungen werden die der Augen nur dadurch ausgelöst, daß die Aufmerksamkeit auf eine Bewegungsvorstellung oder auf eine mit derselben verknüpfte Vorstellung anderer Art gelenkt wird. Wenn z. B. peripher im rechten Auge eine Empfindung erregt und die Aufmerksamkeit auf dieselbe gelenkt wird, so dreht sich das Auge; reflektorisch führt aber das linke Auge dieselbe Drehung aus, bis das Bild des Gegenstandes in beiden Augen auf die Stelle des deutlichsten Sehens fällt. Dann tritt aber ebenfalls reflektorisch eine Konvergenzbewegung ein, so daß die Blicklinien sich in dem Punkte des Raumes schneiden, wo der beachtete Gegenstand sich befindet.

Nach den Untersuchungen Preyers fungiert der Reflexmechanismus, der die Koordination und die Konvergenzbewegungen der beiden Augen herbeiführt, gleich nach der

Geburt recht unsicher [1]. Es kommt zwar mitunter vor, daß beim Neugeborenen koordinierte Augenbewegungen beobachtet werden können: wenn man aber genau aufpaßt, sind bei demselben Kinde auch zahlreiche unkoordinierte Bewegungen zu beobachten, die indes unter dem Einfluß der Übung immer seltener werden und gegen Ende des zweiten Monats fast verschwinden. Dasselbe gilt übrigens auch von den Konvergenzbewegungen. Es kommt zufällig vor, daß die Augen sich gleich nach der Geburt auf ein in der Gesichtslinie befindliches Objekt einstellen. Von einer eigentlichen Fixation kann aber hier keine Rede sein, weil das Kind noch nicht aufmerkt, was daraus hervorgeht, daß die Augen sich nie nach dem Objekt wenden, wenn es in Bewegung gesetzt wird. Dies tritt erst gegen Ende der dritten Woche ein; nach Preyer am 23., in einem von mir beobachteten Falle schon am 18. Tage. Der Mechanismus wird dann schnell eingeübt, indem das Kind bald diesen, bald jenen Gegenstand fixiert und mit dem Blicke langsamen Bewegungen folgt. Mit wachsender Fähigkeit des Aufmerkens wird dann nach und nach die willkürliche Fixation möglich, so daß das Kind die Augen nach einem in der Peripherie des Gesichtsfeldes erscheinenden Objekt wenden und dasselbe fixieren kann. Wann dies zum erstenmal stattfindet, ist schwer zu entscheiden und selbstverständlich, wie alle diese Erscheinungen, individuell recht verschieden. Es leuchtet aber ein, daß der Mechanismus schon völlig funktionsfähig sein muß, wenn das Kind, gegen Ende des dritten Monats, die Ursache eines Geräusches mit dem Blicke suchen kann.

Der Entwicklung des physiologischen Mechanismus parallel geht aller Wahrscheinlichkeit nach die der Raumwahrnehmung. Wenn das Kind die Objekte fixiert und nach denselben greift, wird es anfangs manchmal zu weit, noch häufiger zu kurz greifen. Wenn das halbjährige Kind aber einigermaßen sicher die innerhalb der Greifweite befindlichen Gegenstände nehmen kann, so müssen sich schon Assoziationen zwischen den verschiedenen Gruppen kinästhetischer Empfindungen gebildet haben, so daß die Fixation eines Objektes die zum Ergreifen desselben nötigen Armbewegungen auslösen kann. Entfernungen und Richtungen werden also schon vag unterschieden, und wenn das Kind sich selbständig zu bewegen beginnt, muß dies Unterscheiden sich über größere Entfernungen ausdehnen. Genauer wird die Wahr-

[1] Preyer: Die Seele des Kindes. Leipzig 1884. S. 25 u. f.

nehmung der Ausdehnung, wenn das Kind gegen Ende des ersten Jahres anfängt, sich für die Einzelheiten der Dinge zu interessieren. Was ihm in die Hände gerät, wird immer seltener in den Mund gesteckt, dagegen aufmerksam betrachtet und betastet. Mit den Tastempfindungen ist aber, wie schon erwähnt, die Empfindung des Körperhaften — im Gegensatz zum Flächenhaften der Gesichtsempfindungen — unmittelbar gegeben, und indem das Kind die verschiedenen Punkte des betasteten Gegenstandes fixiert, bilden sich allmählich Assoziationen zwischen den Empfindungen der Augenbewegungen und den gleichzeitigen Tastempfindungen. Diese Verknüpfungen führen dann schließlich dazu, daß die Gesichtswahrnehmungen allein ausreichen, um die Vorstellung des Körperhaften, der dreidimensionalen räumlichen Ausdehnung, hervorzurufen.

Im folgenden gehen wir etwas näher auf die Wahrnehmungen des Tastraumes und des Gesichtsraumes ein, wie sie beim Erwachsenen vorkommen. Der Tastraum spielt aber für den normalen Menschen eine äußerst geringe Rolle, und außerdem ist es durchaus unmöglich von den Gesichtsbildern zu abstrahieren, die die Tastwahrnehmungen begleiten. Wird einem, bei geschlossenen Augen, irgendein Gegenstand in die Hand gelegt, kann man sich durchs Betasten leicht ein Bild von der Form und Größe des Dinges bilden; das Ergebnis dieser Wahrnehmung wird aber fast immer ein Gesichtsbild, kein Tastbild. Ein solches kommt indes beim Blindgeborenen vor, und da es nicht ohne Bedeutung ist, die ausschließlich mittels des Tastsinnes entstehenden Raumwahrnehmungen kennen zu lernen, soll die Raumauffassung der Blindgeborenen kürzlich dargestellt werden.

Siebenundsiebzigstes Kapitel.

Der Tastraum.

Die Raumwahrnehmung der Blinden. Während die Raumauffassung der Sehenden unter dem fortwährenden Einfluß der Sehakte wie von selbst zustande kommt, verhalten sich die Blinden in dieser Beziehung ganz anders. Die Wahrnehmungen des Tastraumes erfordern ein planmäßiges Betasten der Objekte, deren Form und Größe der Blinde zu kennen wünscht; die Gewinnung genauer Raumvorstellungen wird daher zuvörderst von dem Interesse abhängig sein, das der Blinde seiner Umgebung entgegenbringt. Hierzu kommt

noch die individuelle Veranlagung; dem besonders auditiv Veranlagten wird es gewiß schwieriger sein, zu einer präzisen Raumauffassung zu gelangen, als dem Haptisch-motorischen, der sich seiner Druck- und Bewegungsempfindungen besser erinnert. Es ist somit verständlich, daß blinde Musiker oft kaum die einfachsten räumlichen Verhältnisse auffassen, während blinde Handwerker immer recht genaue Vorstellungen von ihren Werkzeugen und Geräten haben. Ferner erheischt es eine gewisse Intelligenz, wenn der Blinde ohne fremde Hilfe zum Auffassen der räumlichen Verhältnisse gelangen soll; durch rationellen Unterricht mittels eines geeigneten Materials wird die Sache sehr erleichtert. Eine genaue Raumauffassung ist daher bei den Blinden durchaus nichts Selbstverständliches. Das weitaus größte psychologische Interesse hat es indes, daß die ausschließlich auf dem Tastsinn beruhende Raumauffassung zu präzisen „geometrischen“ Vorstellungen von den Objekten der Umgebung führen kann, wie es bei einem kurz nach der Geburt erblindeten Mathematiker der Fall war[1]).

Die Wahrnehmung der Form eines Gegenstandes ist nur dann möglich, wenn gleichzeitig die einzelnen Teile empfunden, gesehen oder getastet werden; nur unter dieser Bedingung kommt die gegenseitige Lage der verschiedenen Teile zum Bewußtsein. Eben deshalb sind besonders die Netzhaut und die Haut geeignet, genaue Raumwahrnehmungen zu vermitteln, weil von diesen Sinnesorganen aus eine größere Anzahl Empfindungen gleichzeitig erregt und verschieden lokalisiert werden können. Es würde zweifellos dem Sehenden unmöglich sein, die Form eines Objektes aufzufassen, wenn nur ein winziger Teil desselben alle Augenblicke gesehen werden könnte und das Bild aus einer ganzen Reihe solcher sukzessiven Wahrnehmungen zusammengestückt werden müßte. Ebensowenig ist es aber dem Blinden möglich, die Form eines größeren Objektes aufzufassen, indem er seine Finger über die Oberfläche gleiten läßt; er muß die Lage der möglichst großen Anzahl Punkte gleichzeitig wahrnehmen, was nur dann gelingt, wenn er den Gegenstand mit den Händen umschließen kann. Direkt kann der Blinde somit nur die Form solcher Objekte auffassen, die im *engeren Tastraum*, d. h. in dem von den Händen eingeschlossenen Raum sich befinden können. Da die Hände

[1]) Heller: Studien zur Blindenpsychologie. Wundts Phil. Stud. Bd. 11, S. 426. Diese Abhandlung ist der hier gegebenen Darstellung zugrunde gelegt.

sich an die verschiedenen Oberflächen einigermaßen anschließen können, so werden auf diese Weise unmittelbar die gröberen Formverhältnisse, Krümmungen, Kanten und Ecken wahrgenommen. Die Größe der verschiedenen Ausdehnungen läßt sich aber hierdurch nicht ermitteln, weil die sensiblen Punkte der Haut durch die Biegung und Faltung derselben eine gar zu wechselnde Lage einnehmen. Nachdem aber ein einheitliches Bild von der Form durch die Berührung mit den Händen, das *synthetische Tasten*, entstanden ist, können die verschiedenen Dimensionen durch das *analytische Tasten* genauer bestimmt werden. Zu diesem Zwecke läßt der Blinde den Daumen und den Zeigefinger gleichzeitig die Konturen entlang gleiten, und die größere oder geringere Öffnung des von den Fingern gebildeten Zirkels wird dann das Maß der gegenseitigen Entfernung der betreffenden Punkte. Indem die Ergebnisse der beiden Tastverfahren miteinander kombiniert werden, gewinnt der Blinde ein recht genaues Bild von der Form und der Größe des Objektes, was sich auf die Weise dartun läßt, daß er z. B. aus Ton ein Modell des betrachteten Gegenstandes bildet. Wenn solche Modelle in allem Wesentlichen mit den Originalen übereinstimmen, kann es keinem Zweifel unterliegen, daß die Raumauffassung der Blinden derjenigen der Sehenden entspricht. Wäre der Blinde z. B. außerstande, die Tiefendimension der Objekte aufzufassen, würde er es wohl kaum vermeiden können, die Kontur der Hinterfläche auf dem Plan der Vorderfläche abzubilden, wodurch ein dem Sehenden ganz unverständliches Unding entstehen würde. *Die Dimensionen des Tastraumes stimmen folglich mit denjenigen des Gesichtsraumes überein.*

Die Größe der im *weiteren Tastraume* befindlichen Gegenstände kann der Blinde auf die Weise bestimmen, daß er seine Arme auf dieselbe Weise braucht wie den Daumen und den Zeigefinger im engeren Tastraume; das Verhältnis zwischen der Spannweite der Arme und der der Finger läßt sich leicht bestimmen. Die analytische Untersuchung der Objekte, die überhaupt mit den Armen auszumessen sind, bereitet somit keine unüberwindlichen Schwierigkeiten; weil das synthetische Tasten aber ausgeschlossen ist, kann ein einheitliches Bild der Form, der gegenseitigen Lage der gemessenen Konturen, nicht erzielt werden. Mittels verkleinerter Modelle, die zum Blindenunterricht hergestellt werden, kann der Blinde aber die Form auffassen und darauf die Konturen, die er am Modell

kennen gelernt hat, am wirklichen Objekt wiederfinden, was indes bei komplizierteren Gegenständen eine recht umständliche Arbeit sein kann. Die völlige Orientierung in einer Stube mit mehreren Möbeln wird daher sowohl große Ausdauer als eine nicht geringe Zeit in Anspruch nehmen.

Lokalisation der Tastempfindungen. Die Raumwahrnehmung mittels des Tastsinnes, wie sie beim synthetischen Tasten zustande kommt, wird nur dadurch möglich, daß die gleichzeitigen Druckempfindungen verschieden lokalisiert, d. h. auf den jeweiligen Ort des Reizes bezogen werden. Die Genauigkeit, womit diese Lokalisation stattfindet, ist an den verschiedenen Körperteilen äußerst verschieden, so daß die Unterschiede schon mit recht primitiven Mitteln nachgewiesen werden können. Weber, der die ersten Bestimmungen (1829) ausführte, benutzte einen Zirkel mit abgeschliffenen Spitzen; der Zirkel wurde einfach mit der Hand auf die zu untersuchende Hautstelle gesetzt und die Öffnung der Schenkel immer mehr verkleinert, bis der Abstand der Spitzen gefunden war, wo die beiden Reize eben noch zwei Druckempfindungen erregten. Je kleiner dieser Abstand war, um so größer war die Feinheit des „Ortssinnes“ [1]). Die auf diese Weise gefundenen Werte variieren zwischen 1 mm auf der Zungenspitze und 68 mm auf der Mitte des Rückens. Nach der Zungenspitze haben die Finger, die Lippen, die Zunge und die Zehen, ferner die Hände und Füße, die Arme und Beine die größte Feinheit des Lokalisationsvermögens, während dasselbe am Rumpf durchweg schlechter ist. Im großen und ganzen kann man sagen, daß *das Lokalisationsvermögen mit der Beweglichkeit der betreffenden Hautpartie wächst.*

Bei genauerer Untersuchung dieser Verhältnisse erheben sich indes zahlreiche Einwände gegen die erwähnte einfache Methode. Erstens bemerkt man leicht, wenn die eine Spitze vor der anderen auf die Haut gesetzt wird, daß zwei Reizungen stattfinden, während man bei genau simultaner Reizung mit demselben Spitzenabstand nur e i n e Druckempfindung erhält. Dies ist nicht auffällig; auf allen Gebieten wiederholt es sich, daß die bei simultaner Reizung erregten Empfindungen verschmelzen können, während die sukzessive erregten als besondere Empfindungen hervortreten. In bezug auf die Loka-

[1]) Vgl. Thunberg: Physiologie der Druckempfindungen usw., in Nagels Handbuch, Bd. 3, S. 716.

lisation der Druckempfindungen können wir also sagen, daß die *Sukzessivschwelle*, d. h. der Abstand der Reizorte, der bei sukzessiver Reizung eben noch zwei Empfindungen ergibt, kürzer sei als die *Simultanschwelle*, der entsprechende Abstand bei genau simultaner Reizung. Da es sich nun als fast unmöglich erweist, mit der Hand die beiden Spitzen des Zirkels völlig gleichzeitig aufzusetzen, so können die Bestimmungen Webers auf keine große Genauigkeit Anspruch machen, weil sie weder reine Simultan- noch reine Sukzessivschwellen sind. Zweitens gibt es bei einigermaßen simultaner Reizung, wie schon Weber bemerkte, eigentlich zwei verschiedene Schwellen. Als *Distanzschwelle* bezeichnet man denjenigen Abstand der Spitzen, wo eben noch zwei Druckempfindungen erregt werden. Wird der Abstand aber kleiner als diese Größe genommen, so resultiert keineswegs nur eine punktförmige Druckempfindung, sondern man hat den Eindruck, als ob die Haut auf einer geradlinigen Strecke mit der stumpfen Kante irgendeines Dinges gedrückt würde, und man hat zugleich eine mehr oder weniger genaue Empfindung von der Richtung dieser Strecke. Diese Empfindung von einem Druck bestimmter Richtung hört erst auf, wenn der Abstand noch bedeutend geringer geworden ist; der kleinste Spitzenabstand, der diese Empfindung gibt, wird die *Richtungsschwelle* genannt. Bei noch kleinerem Spitzenabstand resultiert nur eine punktförmige Druckempfindung. Es ist nicht immer leicht, die Distanz- und die Richtungsschwelle auseinanderzuhalten, denn man weiß ja, daß zwei Spitzen vorhanden sind, solange ein Druck bestimmter Richtung merklich ist, und dies Wissen führt sehr leicht zu der falschen Annahme, daß man zwei Drucke empfindet. Wenn die Versuchspersonen sich nicht besonders darauf einüben, die beiden Schwellen zu unterscheiden, kann ihre Vermischung ebenfalls recht ungenaue Resultate herbeiführen.

Nach dem Angeführten ist es leicht verständlich, daß eine geringe Anzahl Einzelbestimmungen, mit ganz ungeübten Versuchspersonen angestellt, keine brauchbaren Resultate ergeben können. Das größere oder geringere Lokalisationsvermögen als Maß geistiger Ermüdung bei Massenuntersuchungen von Schülern anzuwenden, wie Griesbach es versucht hat[1], würde wegen der zu genauen Schwellenbestimmungen erforderlichen Zeit unpraktisch sein, ganz davon abgesehen, daß keine Be-

[1]) Energetik und Hygiene des Nervensystems, 1895.

ziehung zwischen dem Lokalisationsvermögen und der Ermüdung besteht[1]).

Die möglichst kleinen Schwellenwerte findet man, wie gesagt, bei sukzessiver Reizung. Wird dieselbe mit feinen Nadeln ausgeführt, die auf die im voraus gefundenen und markierten Druckpunkte eingestellt sind, so ergibt sich das interessante Resultat, daß schon *bei der Reizung benachbarter Druckpunkte die erregten Druckempfindungen als örtlich verschieden aufgefaßt werden;* der Reiz scheint sich zu verschieben[2]). Man kann zwar im allgemeinen die Richtung dieser Verschiebung nicht angeben, wenn die gereizten Druckpunkte einander sehr nahe liegen; erst bei einer gewissen Entfernung der Punkte wird die Angabe der gegenseitigen Lage möglich. Dies Verhältnis ist augenscheinlich nur ein Spezialfall der auf allen anderen Gebieten ebenfalls zu konstatierenden Tatsache, daß der eben merkliche und der eben angebbare Unterschied zwei verschiedene Größen sind. Dieser Umstand beeinträchtigt indes nicht im geringsten das Hauptergebnis der Untersuchung, daß die von jedem einzelnen Druckpunkt aus erregten Empfindungen eine besondere Lokalfarbe, ein Lokalzeichen haben, wodurch sie auf den Reizort bezogen werden. Der Druckpunkt ist somit ein anatomischer Empfindungskreis in dem Sinne, daß alle Reize, die nur einen Druckpunkt reizen, auf denselben Ort lokalisiert werden.

Bei simultaner Reizung von Druckpunkten, deren Entfernung die Distanzschwelle nicht überschreitet, verschmelzen die erregten Empfindungen, und die Stärke der resultierenden ist stets größer als die jeder einzelnen Empfindung[3]). Auf die theoretische Bedeutung dieser Beobachtung kommen wir im folgenden zurück.

Theorie der räumlichen Lokalisation. Die im vorhergehenden dargestellten Tatsachen in betreff der Lokalisation der Reize und der Verschmelzung der erregten Empfindungen unter bestimmten Bedingungen erheischen eine Erklärung. Ganz analoge Tatsachen werden uns bei der Darstellung des Gesichtsraums begegnen; da das Auge aber viel komplizierter gebaut ist als die relativ einfachen Organe, die die Raumwahrnehmungen des Tastraumes vermitteln, werden wir schon hier,

---

[1]) Bolton in Kraepelins psychol. Arbeiten. Bd. 4. 1904, S. 175 u. f.
[2]) v. Frey und Metzner, Zeitschrift für Psychol. Bd. 29, S. 161 u. f.
[3]) Brückner, Zeitschrift für Psychol. Bd. 26, S. 33 u. f.

wo die Verhältnisse übersichtlicher sind, versuchen, eine Erklärung der erwähnten Tatsachen zu geben.

Da die Reizung zweier Druckpunkte Empfindungen erregen kann, die qualitativ und intensiv gleich sind und nur verschieden lokalisiert werden, kann das Lokalzeichen einer Druckempfindung von ihrer besonderen Qualität nicht herrühren. Es muß also zur eigentlichen Druckempfindung etwas hinzutreten, wodurch die Empfindung erst auf einen bestimmten Ort bezogen wird, und aller Wahrscheinlichkeit nach ist es recht komplizierter Art. Erstens zeigt die Selbstbeobachtung, daß schon ein leichtes, zufälliges Prickeln in der Haut genügt, um Reflexbewegungen auszulösen, wodurch die Hände mit der gereizten Stelle in Berührung gebracht werden. Die ausgeführten Bewegungen werden empfunden, und es assoziieren sich auf diese Weise mit den Tastempfindungen kinästhetische Erinnerungsbilder, die wahrscheinlich auch in dem Falle reproduziert werden, wo wir die Reflexe hemmen. Zu den Bewegungsvorstellungen kommt zweitens bei vielen Menschen das Gesichtsbild des gereizten Körperteils; notwendig kann dies Bild aber nicht sein, weil das Lokalisationsvermögen der Blindgeborenen dem der Sehenden kaum nachsteht. Selbst bei ausgesprochen visuellen Individuen sind die optischen Bilder daher gewiß nur von untergeordneter Bedeutung, jedenfalls wenn es sich um Körperteile handelt, die man nicht sehen kann. Ein Kribbeln auf dem Rücken z. B. ruft bei mir nur ein äußerst unbestimmtes Gesichtsbild hervor, was recht natürlich ist, da ich wohl nie meinen eigenen Rücken gesehen habe, wogegen die reflektorische Tendenz, den gereizten Ort zu berühren, sehr lebhaft ist.

Gegen diese Auffassung läßt sich der Einwand erheben, daß die Lokalzeichen auf den Bewegungsvorstellungen nicht beruhen können, weil die Bewegungen die Lokalzeichen voraussetzen; würde der Reiz nicht lokalisiert, könnte die rechte Bewegung auch nicht ausgelöst werden. Ein solcher Einwand würde indes die Natur der Reflexe völlig verkennen. Ein Hund ohne Großhirn oder ein gehirnloser Frosch führt, wie (S. 126) erwähnt, komplizierte, dem Anscheine nach zweckmäßige Reflexbewegungen aus, und von einer bewußten Lokalisation der Reize kann hier keine Rede sein. Die zweckmäßigen Reflexe werden einfach durch die Anordnung der Nervenbahnen möglich, und erst wenn beim unverletzten Tier solche Reflexe genügend oft vorgekommen sind, kann eine bewußte

Lokalisation mittels der kinästhetischen Erinnerungsbilder zustande kommen. Mit Bezug auf Reflexbewegungen ist der Mensch übrigens relativ ungünstig gestellt, indem beim Neugeborenen allerdings, wie Preyer hervorhebt, durch Hautreize reflektorische Bewegungen der Glieder ausgelöst werden können, die Reflexe aber keineswegs sicher sind, so daß der Reizort manchmal vom bewegten Glied nicht gefunden wird. Diese Beobachtung zeigt jedenfalls, daß die Hautempfindungen des Menschen keine angeborenen Lokalzeichen haben, die beim Reflex mitwirken [1]). Die nervösen Leitungsbahnen bestimmen nur die Hauptrichtungen der reflektorischen Bewegungen, während die feinere Regulierung der Bewegungen durch die Übung zustande kommt, indem das Kind sich bemüht, eine gereizte Stelle zu berühren. Auf diese Weise werden nach und nach Bewegungsempfindungen mit bestimmten Tastempfindungen verknüpft, und die Bewegungsvorstellungen fungieren dann als Lokalzeichen der letzteren. Wie die Versuche zeigen, kann das Lokalisationsvermögen des Erwachsenen durch fernere Einübung zu besonderen Zwecken viel feiner als vorher werden, eine Erfahrung, die kaum verständlich wäre, wenn die Lokalisation auf einem angeborenen System von Lokalzeichen beruhte. Selbstverständlich ist die Möglichkeit ausgeschlossen, daß die Empfindungen jedes einzelnen Druckpunktes mit einer entsprechenden Bewegungsvorstellung assoziiert werden kann. Jeder Druckpunkt hat aber in Verbindung bald mit diesen, bald mit jenen benachbarten Punkten Bewegungen oder Bewegungstendenzen ausgelöst, so daß die Tastempfindungen der verschiedenen Gruppen von Druckpunkten mit Bewegungsvorstellungen assoziiert sind. Wird nun ein isolierter Druckpunkt gereizt, reproduziert die Druckempfindung teilweise die verschiedenen Bewegungsvorstellungen, die früher durch Reizung des Punktes in Verbindung mit anderen Punkten hervorgerufen wurden, und auf diese Weise kann also jeder Punkt mit einer besonderen Bewegungstendenz verknüpft werden, d. h. sein spezifisches Lokalzeichen erhalten.

Wie schon erwähnt, kann das Lokalisationsvermögen so fein werden, daß die Empfindungen jedes Druckpunktes verschieden lokalisiert werden können. Es erhebt sich dann die Frage, warum bei simultaner Reizung zwei benachbarter

[1]) Vgl. Moore: The mental development of a child. New-York 1896. S. 77 u. f.

Druckpunkte die erregten Empfindungen verschmelzen und sich mithin in je ihren Reizort nicht lokalisieren lassen. Dieses Problem ist indes nur ein Spezialfall des viel allgemeineren, warum überhaupt gleichzeitige Empfindungen mitunter verschmelzen, wenn sie, sukzessiv erregt, unterschieden werden können. Zur Erklärung dieser Tatsache wurde schon oben (S. 172) eine einfache Theorie aufgestellt. Indem wir davon ausgingen, daß die Reizung irgendeines Sinnespunktes stets eine größere Anzahl zentraler Neurone in Tätigkeit verschiedener Stärke versetzt, ließ sich die Verschmelzung gleichzeitiger Empfindungen einfach dadurch erklären, daß die tätigen Neurone einander so nahe lägen, daß durch ihre gleichzeitige Tätigkeit nur ein einheitlicher Vorgang entstände. Die Sache kann durch ein graphisches Schema erläutert werden, das Bernstein speziell zur Erklärung der großen Distanzschwellen

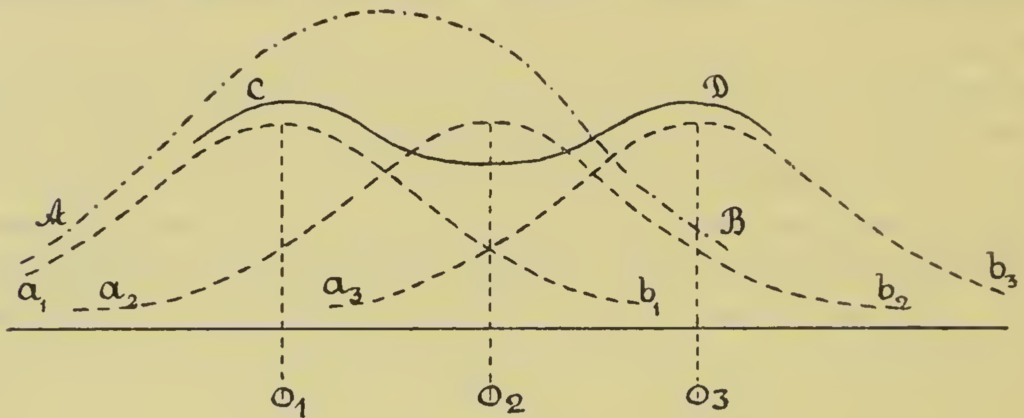


Fig. 73.

bei simultaner Reizung der Haut aufgestellt hat[1]), das aber ebensowohl die Verschmelzung beliebiger gleichzeitiger Empfindungen erklärt.

Es seien *1*, *2* und *3* der Fig. 73 drei Punkte eines Sinnesorgans, die mit der zentralen Sinnessphäre verbunden sind. Die Reizung jedes dieser Punkte setzt eine größere Anzahl zentraler Neurone in Tätigkeit; die Ordinaten der Kurven $a_1 b_1$, $a_2 b_2$, $a_3 b_3$ bezeichnen die Stärke der Erregung der verschiedenen Neurone, wenn jeder Punkt isoliert gereizt wird. Bei gleichzeitiger Reizung der Punkte *1* und *2* resultiert, durch Summation der Erregungen, der durch die Kurve *AB* dargestellte Vorgang, worin die beiden Komponenten völlig verschmolzen sind. Werden dagegen die Punkte *1* und *3* gleichzeitig gereizt, so resultiert auf dieselbe Weise der durch die Kurve *CD* dar-

[1]) Lehrbuch der Physiologie. 1894, S. 568.

gestellte Vorgang, der die beiden Komponenten noch als relativ selbständige, sich nur gegenseitig beeinflussende Prozesse enthält. Im ersteren Falle wird das psychische Ergebnis eine durch die völlige Verschmelzung der Empfindungen entstandene neue Qualität, im letzteren dagegen eine Mischung, die sich mehr oder weniger schwierig analysieren läßt (vgl. S. 170).

An verschiedenen Stellen im vorhergehenden (S. 216, 302, 313, 317) haben wir gesehen, wie die tatsächlich auf verschiedenen Sinnesgebieten vorkommenden Verschmelzungen sich einfach nach dieser Theorie erklären lassen. Auf analoge Weise erklärt die Fig. 73 die Tatsachen der gegenseitigen Beziehung der Tastempfindungen. Bei simultaner Reizung zwei benachbarter Druckpunkte (*1* und *2* der Figur) verschmelzen die punktförmigen Empfindungen der einzelnen Druckpunkte zur qualitativ neuen Empfindung eines linienförmigen Druckes, was der Kurve *AB* entspricht. Bei größerer Entfernung der Druckpunkte (*1* und *3*) werden die Empfindungen relativ selbständig, der Kurve *CD* entsprechend. Diese Selbständigkeit ist natürlich eine notwendige Bedingung für ihre verschiedene Lokalisation; es müssen aber außerdem die nötigen Lokalzeichen gegeben sein. Da solche z. B. den Tonempfindungen abgehen, können sie trotz ihrer gegenseitigen Unabhängigkeit nicht lokalisiert werden, während die Tastempfindungen sich immer lokalisieren lassen; die isoliert empfundenen werden auf verschiedene Reizorte, die verschmolzenen Tastempfindungen auf einen gemeinsamen Reizort bezogen.

Das Bernstein'sche Schema erklärt nun ferner auch, warum zwei Druckempfindungen relativ leicht unterschieden werden können, wenn sie nicht völlig gleichzeitig eintreten. Wird nämlich z. B. der Punkt *1* zuerst erregt, so entsteht der zentrale Vorgang $a_1 b_1$, dem eine bestimmte Empfindung entspricht. Wird darauf der Punkt *2* zugleich erregt, so verschmilzt der Vorgang $a_2 b_2$ mit $a_1 b_1$ zu *AB*, womit also eine neue Empfindung gegeben ist, die, wie wir oben sahen, jedenfalls stärker als jeder der Komponenten ist. Man hat also in diesem Falle, bei nicht völlig simultaner Reizung, sukzessive zwei verschiedene Empfindungen und schließt mithin auf die Reizung zweier Punkte.

Es erübrigt nur noch die Frage von dem physiologischen Korrelat der Raumempfindung. Die räumliche Ausdehnung als Dimension der Empfindungen ist, wie leicht ersichtlich, die notwendige Voraussetzung dafür, daß die Lokalzeichen über-

haupt eine Lokalisation zustande bringen können. Hätte die durch einen Druck auf die Haut erregte Empfindung außer Qualität und Intensität nicht zugleich eine räumliche Ausdehnung, so würden die damit assoziierten Bewegungstendenzen keine räumliche Bedeutung haben, nie dazu beitragen können, die Empfindung auf einen bestimmten Reizort zu beziehen. Die Raumempfindung muß im voraus gegeben sein, wenn es je zu einer präziseren Raumwahrnehmung mittels der Lokalzeichen kommen soll. Wir können daher auch Raumempfindung ohne Lokalisation haben, wie z. B. bei den Ton- und Geschmacksempfindungen, die sich entweder gar nicht oder nur sehr unbestimmt lokalisieren lassen. Es muß also eine den Nervenerregungen der verschiedenen Sinnesgebiete gemeinsame Eigenschaft sein, die die räumliche Ausdehnung vermittelt. Man findet nun überall, wo die Verhältnisse näher untersucht werden können, daß die Ausdehnung, bei konstanter Art und Stärke der Empfindung, mit der Größe der gereizten Fläche des Sinnesorgans wächst. Hiermit wächst die Anzahl sowohl der gereizten peripheren als der erregten zentralen Nervenelemente und mithin auch die Größe der zentralen Energieumwandlung. Von der Intensität des Reizes ist indes das Potentialgefälle, der Intensitätsfaktor des zentralen Umsatzes abhängig (S. 107); bei konstanter Reizstärke kann die zentrale Energieumwandlung mithin nur dadurch wachsen, daß die Kapazität zunimmt. Wir kommen somit zu dem einfachen Satze: *Die Dimension der Ausdehnung der Empfindung ist durch die Kapazität der zentralen Energieumwandlung bestimmt.*

Hiernach läßt es sich leicht erklären, warum z. B. die Geruchs- und Gelenkempfindungen keine räumliche Ausdehnung haben. Wegen des Baues der Sinnesorgane wird nämlich jeder Reiz wahrscheinlich alle peripheren Nervenelemente in Tätigkeit setzen, und unabhängig von der Art und Stärke der Reize erhalten die zentralen Errregungen somit eine konstante Kapazität. Sämtliche Empfindungen haben daher dieselbe Ausdehnung, weshalb sie nie merklich werden kann.

Forel hat nachgewiesen, daß der Geruchsinn der Ameisen zu einem topochemischen Sinn entwickelt worden ist, wodurch sich die Tiere im Raume zwar nicht ausschließlich, jedoch aber hauptsächlich orientieren [1]). Hiermit übereinstimmend zeigt das Geruchsorgan der Ameisen, die Antennen, einen von dem des Menschen völlig abweichenden Bau. Diese Tatsachen beweisen jedenfalls, daß das

[1]) Das Sinnesleben der Insekten. München 1910. S. 111 u. f.

Fehlen der räumlichen Ausdehnung durchaus keine durch die Natur der Geruchsempfindungen bedingte Eigentümlichkeit, sondern lediglich vom Bau des Geruchsorgans abhängig ist.

Achtundsiebzigstes Kapitel.

Der Gesichtsraum.

Mit Bezug auf die Raumwahrnehmung bilden die beiden Augen eigentlich nur ein Sinnesorgan, das *Doppelauge.* Das einzelne Auge besitzt nämlich keine Vorrichtung zum Auffassen der Tiefendimension; alle Punkte, die in derselben Gesichtslinie liegen, bilden sich unabhängig von ihrem Abstand vom Auge in demselben Punkt der Netzhaut ab. Bei monokularer Betrachtung können die Entfernungen der Objekte daher nicht direkt wahrgenommen werden, wovon mitunter Anwendung gemacht wird, um absichtlich Täuschungen hervorzubringen, z. B. wenn man eine Gemälde mit einem Auge durch ein Rohr betrachtet; hierdurch wird die Perspektive deutlicher, indem die Bildfläche sich weniger aufdringt. Die Auffassung der Tiefendimension kann bei monokularem Sehen nur unter Anwendung der mit dem Doppelauge erworbenen Erfahrungen in sehr beschränktem Maße stattfinden. Immerhin ist unsere Raumwahrnehmung schon größtenteils durch die Leistungen des einzelnen Auges bestimmt, und wir gehen daher zuvörderst auf das Sehen mit einem Auge ein, um später die speziellen Funktionen des Doppelauges zu behandeln.

Das Sehen mit einem Auge. Werden durch den Knotenpunkt der brechenden Medien des Auges Linien zu den Endpunkten irgendeiner Distanz im Raume gezogen, ist die Bildgröße dieser Distanz auf der Netzhaut durch den von den Linien eingeschlossenen Winkel, den *Gesichtswinkel*, bestimmt. Je größer der Gesichtswinkel wird, um so größer erscheint das betreffende Objekt; es gibt aber keine untere Grenze des Gesichtswinkels, wo die Sichtbarkeit aufhört. Es ist lediglich von der Intensität des Lichtes abhängig, ob ein Objekt bei beliebig kleinem Gesichtswinkel sichtbar ist oder nicht; selbst die hellsten Fixsterne z. B. haben keinen meßbaren Gesichtswinkel. Dagegen findet man, daß zwei Punkte erst bei einer bestimmten gegenseitigen Distanz eben unterschieden werden können; je kleiner dieser Gesichtswinkel, um so größer ist die *Sehschärfe.* Diese Größe ist individuell sehr verschieden, bei demselben Auge außerdem vom Reizorte abhängig. An der Stelle des deut-

lichsten Sehens, in der Fovea, ist die Sehschärfe am größten und nimmt von hier gegen die Peripherie hin schnell ab. Werden z. B. zwei schwarze Punkte von etwa 2 mm Diameter und derselben gegenseitigen Distanz auf weißem Grunde bei fixiertem Auge vom Fixationspunkt in seitlicher Richtung immer mehr entfernt, so erscheinen die Punkte größer, ihre Konturen unscharf, und schließlich kann man die Punkte nicht unterscheiden, man sieht eine Linie.

Diese Erscheinung kann von der dioptrischen Irradiation nicht verursacht sein, weil schwarze Punkte auf hellem Grunde dadurch kleiner werden und außerdem bei starker Irradiation graue Ränder erhalten, die im peripheren Bilde nicht vorkommen[1]). Die Ursache ist zweifellos in der Netzhaut zu suchen. Da wir durch Reizung der unmittelbar nebeneinander liegenden sensiblen Nervenelemente immer eine kontinuierliche Fläche sehen, kann eine Diskontinuität nur dann entstehen, wenn mindestens ein ungereiztes Nervenelement zwischen zwei gereizten liegt. Dies scheint denn auch zuzutreffen. Die kleinste Distanz, wobei eine Unterscheidung zweier Punkte an der Stelle des deutlichsten Sehens noch möglich wird, ist 50″, was einer linearen Distanz von 0,0035 mm an der Fovea gemessen entspricht. Die Zapfen der Fovea sind aber 0,003 mm dick[2]). Außerhalb der Fovea, deren Querdurchmesser rund 1°, deren Höhendurchmesser etwa 40′ ist, kommen die Stäbchen vor, die mit wachsender Entfernung von der Netzhautmitte immer zahlreicher werden. Da aber eine Nervenfaser immer mehreren Stäbchen gemeinsam ist, kann ein Reiz, der eine solche Gruppe irgendwo trifft, nicht scharf lokalisiert werden; die Empfindung wird auf die ganze Gruppe bezogen, ihre Ausdehnung wird größer. Damit ferner zwei Punkte unterschieden werden, muß zwischen zwei gereizten Stäbchengruppen mindestens eine ungereizte liegen. Im indirekten Sehen haben aber zwei Punkte, die eben unterschieden werden, dem Anscheine nach stets eine relativ große gegenseitige Entfernung, was ebenfalls die Bedeutung der Stäbchengruppen bestätigt. Da die periphere Sehschärfe unserer Auffassung zufolge in höherem Grade von der Größe der Stäbchengruppen als von der Anzahl der Zapfen abhängig ist, wird es leicht verständlich, daß die Sehschärfe peripheriewärts stärker als die Zahl

[1]) Aubert: Physiologie der Netzhaut. Breslau 1865. S. 249.
[2]) Nagel: Handbuch der Physiol. Bd. 3, S. 340, 344.

der Zapfen abnimmt. Dieses vom Bau der Netzhaut herrührende Irradiationsphänomen bezeichnen wir als die *retinale Irradiation.*

Die erwähnten Beobachtungen des indirekten Sehens sind nicht leicht anzustellen, weil *die Lenkung der Aufmerksamkeit auf irgendeinen Punkt des Sehfeldes reflektorisch eine Drehung des Auges in dem Sinne herbeiführt, daß der beachtete Punkt fixiert wird.* Diese reflektorische Fixation des beachteten Punktes läßt sich nur dadurch überwinden, daß man die Bewegung durch willkürliche Fixation eines anderen Punktes hemmt, was indes eine nicht geringe Übung erfordert. Für die Lokalisation der Objekte im Sehfelde sind die Augenbewegungen von der größten Bedeutung. Sie werden von den sechs Augenmuskeln vermittelt, die so angeordnet sind, daß die Rechts- und Linkswendung von je einem Muskel besorgt werden, während sowohl die Hebung als die Senkung je die Tätigkeit zweier Muskeln erfordern. Auf die physiologischen Einzelheiten dieser Bewegungen brauchen wir hier nicht einzugehen; von psychologischer Bedeutung ist nur das allgemeine *Gesetz der konstanten Orientierung* (Donders 1847)[1], dem die Bewegungen unterworfen sind.

Dieses Gesetz erheischt eine nähere Erklärung. Wenn man mit aufrechtem Kopfe einen unendlich fernen Punkt im Horizont betrachtet, so sind mithin die *Blicklinien*, d. h. die Linien vom betrachteten Punkte zu den beiden Netzhautmitten, wagerecht und parallel. Diese Stellung des Auges wird die *Ausgangstellung* (Primärstellung) des Auges genannt. Die durch die Blicklinien bestimmte Ebene schneidet dann die Netzhaut in einer Linie, dem *Netzhauthorizont.* Betrachtet man nun irgendeinen anderen Punkt im Sehfelde, so dreht sich also das Auge, bis die Blicklinie den fixierten Punkt, den *Blickpunkt*, mit der Fovea verbindet, und der Netzhauthorizont nimmt dann eine neue Stellung ein. Diese Stellung kann man einfach auf die Weise bestimmen, daß man auf einer Wand einen farbigen Streifen in solcher Höhe anbringt, daß das Auge sich eben in der Ausgangstellung befindet, wenn man den Streifen fixiert. Bei genügend langer Fixation bildet sich ein negatives Nachbild, das die Lage des Netzhauthorizontes auf der Netzhaut markiert. Das Nachbild wird nach außen projiziert, man sieht es auf der Wand, und bei jeder Drehung

[1]) Wundt: Physiol. Psychol. 6. Aufl. Bd. 2, S. 560.

des Auges gibt es die neue Orientierung des Auges an. Man findet nun, daß *die Lage des Netzhauthorizontes, und mithin die Orientierung des ganzen Auges, für jede Stellung der Blicklinie konstant ist, unabhängig von dem Wege, auf welchem sie in die neue Stellung gelangt ist.*

Wenn das Auge aber bei jeder Stellung der Blicklinie stets dieselbe Orientierung hat, so ist mithin die Spannung der Muskeln, die das Auge in einer gegebenen Lage halten, für jede Stellung der Blicklinie konstant. Es muß sich also bei der Tätigkeit des Auges mit den von den verschiedenen Netzhautpunkten herrührenden Lichtempfindungen ein ganz bestimmtes System von Spannungsempfindungen der Augenmuskeln und von Druckempfindungen, die durch die Drehung verursacht sind, assoziieren. Die Spannungs- und Druckempfindungen variieren sowohl mit der Richtung als mit der Größe der Drehung und sind stets durch die Stellung des Auges in Beziehung zur Ausgangstellung bestimmt. Um das Auge von der Ausgangstellung aus in einer ganz bestimmten Richtung zu drehen, sind nämlich stets dieselben Muskeln tätig, und die Qualität der Spannungs- und Druckempfindungen ist also mit der Richtung gegeben, während die Intensität der Empfindungen von der Größe der Drehung abhängig ist. Die von der Drehung erregten Empfindungen bilden somit ein System von Polarkoordinaten, wo die Ausgangstellung die Polaraxe, die Qualität der Empfindung die Phase und die Intensität den Radius vector angibt. Die Lage eines beliebigen Punktes im Sehfelde läßt sich mithin vollständig durch diese Größen bestimmen; *die bei der Drehung des Auges erregten Spannungs- und Druckempfindungen sind die Lokalzeichen der Netzhautpunkte und geben ihre Lage in Beziehung zur Netzhautmitte an.*

Hieraus folgt nun ferner, daß wir mittels des Auges Distanzen im Sehfelde vergleichen können. Einigermaßen genau wird das *Augenmaß* nur, wenn die zu vergleichenden Strecken parallel sind und einander nahe liegen. In diesem Falle werden nämlich, wenn die Blicklinie sukzessiv die beiden Strecken durchläuft, qualitativ gleiche und nur intensiv verschiedene Spannungsempfindungen erregt, wodurch die verschiedene Länge der Strecken unmittelbar erkannt wird. Wenn die Distanzen dagegen nicht parallel und vielleicht außerdem weit auseinander liegen, wird die Bewegung der Blicklinie in den beiden Fällen durch ganz verschiedene Muskeln vermittelt, so daß die

Spannungsempfindungen nicht nur intensiv, sondern zugleich qualitativ verschieden sind. Erfahrungsmäßig haben wir zwar gelernt, die Angaben solcher verschiedenen Maßsysteme aufeinander zu reduzieren; genau wird die Vergleichung aber nicht. Daß wir übrigens nicht nur angeben können, welche Strecke die längere ist, sondern auch wievielmal eine kürzere in einer längeren enthalten ist, beruht einfach darauf, daß wir die Bewegung des Auges, die der kürzeren Strecke entspricht, längs der größeren genügend oft wiederholen können.

Die Schärfe des Augenmaßes, die U-E. für Distanzen, schwankt um $^1/_{40}$. Die bisherigen Bestimmungen sind nicht besonders genau[1]) und sind außerdem binokular ausgeführt worden, so daß es zweifelhaft ist, ob die gefundenen Werte für das monokulare Sehen Gültigkeit haben.

Wenngleich sehr unsicher, ist die Tiefenwahrnehmung schon beim monokularen Sehen möglich. Verschiedene Momente tragen hierzu bei. Da die Netzhautbilder der Objekte um so kleiner werden, je entfernter die Objekte, so geht aus der scheinbaren Größe bekannter Gegenstände ihre größere oder geringere Entfernung hervor. Die teilweise Verdeckung der entfernteren Objekte durch die näheren trägt ebenfalls zur Tiefenauffassung bei, und in derselben Richtung wirkt die Luftperspektive, d. h. die Farben der Objekte und die Klarheit ihrer Konturen, die sich verändern, wenn das Licht, ehe es das Auge trifft, eine größere Luftschicht passieren muß.

Innerhalb enger Grenzen kann ferner die Akkommodation des Auges die Tiefenwahrnehmung vermitteln. Ein scharfes Bild eines Objektes entsteht nur dann, wenn die Linsenkrümmung dem Abstand des Objektes entspricht, und diese Veränderungen im Innern des Auges sind bis zu Entfernungen von etwa 3 m merklich. Es sind indes, wie experimentell nachgewiesen, nur ziemlich grobe Unterschiede, die auf diese Weise ohne andere Hilfsmittel empfunden werden[2]). Schließlich kommt noch in Betracht, daß bei Bewegungen des Körpers oder des Kopfes die Objekte sich dem Anschein nach in entgegengesetzter Richtung bewegen und um so schneller, je näher sie sind, was besonders bei der Eisenbahnfahrt leicht beobachtet wird. Schon durch eine Bewegung des Kopfes wird man aber oft entdecken können, welches von zwei in

[1]) Wundt, a. a. O. S. 573.
[2]) Wundt, a. a. O. S. 634.

derselben Richtung gesehenen Objekten das nähere ist [1]). Alle diese Momente haben indes, außer für die Einäugigen, nur nebensächliche Bedeutung, da die Tiefenwahrnehmung des Doppelauges außerordentlich viel genauer ist.

Das Sehen mit zwei Augen. Schließt man abwechselnd das eine oder das andere Auge, bemerkt man leicht, wie die näheren Gegenstände ihre Lage zu den entfernteren verändern. Die beiden Netzhautbilder sind also keineswegs identisch, und dennoch sehen wir im allgemeinen nur e i n Bild, nicht zwei verschiedene. Man braucht indes nur durch einen leichten Druck das eine Auge aus seiner normalen Lage zu bringen, um sofort Doppelbilder zu erhalten. Hieraus geht also hervor, daß eine Verschmelzung des Doppelbildes nur dann stattfindet, wenn die beiden Bilder auf ganz bestimmte Punkte der Netzhäute fallen. Diese Punkte werden *korrespondierend* genannt. Es fragt sich nun zuvörderst, wie die Lage des binokular gesehenen Bildes sich zu der der beiden monokular gesehenen verhalte.

Die Frage läßt sich durch ein einfaches Experiment beantworten. Bringt man auf der Fensterscheibe eine Marke an und stellt sich so, daß die Marke mit dem linken Auge in der Richtung eines äußeren Objektes A, mit dem rechten Auge in der Richtung des Objektes B gesehen wird, so nimmt sie, wenn sie binokular fixiert wird, eine solche Lage ein, als würde sie von einem Zyklopenauge, mitten zwischen den wirklichen Augen liegend, gesehen. Die Richtung der Objekte beim binokularen Sehen können wir also stets auf die Weise bestimmen, daß wir das Doppelauge durch ein einfaches ersetzen, das in der Mitte der Verbindungslinie der beiden Augen liegt.

Korrespondierende Punkte normaler Augen sind mit großer Annäherung diejenigen, die mit Bezug auf die Netzhautmitte eine *identische Lage* haben, d. h. in gleicher Richtung gleich weit abstehen. Die Netzhautmitten selbst sind somit stets korrespondierend. Ein Punkt im Raume, der sich auf *disparaten*, d. h. nicht korrespondierenden Netzhautpunkten abbildet, wird dann im allgemeinen doppelt erscheinen, wovon man sich durch einen Versuch leicht überzeugen kann. Wird ein Punkt b (Fig. 74) fixiert, so treffen also die Blicklinien die Netzhautmitten der Augen L und R; der Punkt wird einfach und in der Richtung oo gesehen. Ein in dieser Linie den Augen näher liegender Punkt a muß dann doppelt erscheinen, weil die

---

[1]) Bourdon: La perception visuelle de l'espace. Paris 1902. S. 286.

Gesichtslinien disparate Punkte (α, β) der beiden Netzhäute treffen. Die Doppelbilder sind gekreuzt, indem das vom rechten Auge gesehene Bild links des Fixationspunktes b, das Bild des linken Auges rechts liegt, was man durch abwechselndes Schließen des einen und des anderen Auges leicht bemerkt. Ein den Augen ferner liegender Punkt c erscheint ebenfalls doppelt, die Bilder sind aber in diesem Falle ungekreuzt, gleichnamig.

Dem Anscheine nach können zuweilen Bilder, die auf disparate Punkte fallen, einfach gesehen werden. Es sei der Punkt a (Fig. 75) fixiert. In diesem Punkte denken wir uns senkrecht zur Richtung oo eine Ebene, die die Blickebene nach der Linie AB schneidet. Ein Punkt P in dieser

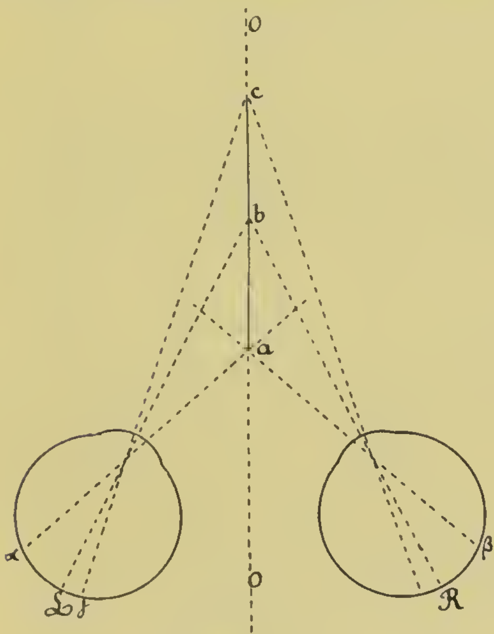


Fig. 74.

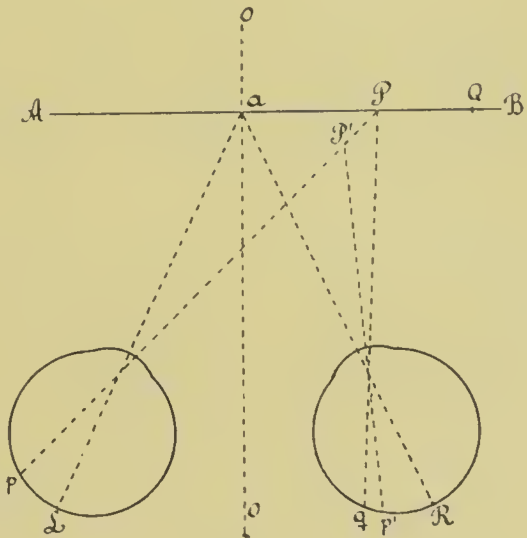


Fig. 75.

Linie bildet sich im linken Auge L bei p ab; der korrespondierende Punkt des rechten Auges R ist p', indem $p'R = pL$. Es läßt sich nun beweisen, daß die Gesichtslinien, die die Netzhäute in p und p' treffen, sich in einem Punkte P' schneiden, der vor der Linie AB, den Augen näher, liegt. Der Punkt P muß mithin doppelt erscheinen, da er sich auf disparaten Punkten abbildet, und dasselbe gilt für jeden anderen Punkt, z. B. Q, in der Linie AB. Und zeichnen wir in der Ebene AB z. B. einen Zirkel, dessen Diameter PQ ist, so muß dieser Zirkel, wenn a fixiert wird, doppelt erscheinen, was aber im allgemeinen nicht zutrifft. Mittels der Fig. 76 kann man sich hiervon überzeugen. Wird der Zirkel A fixiert, dann wäre zu erwarten, daß der binokulär und indirekt ge-

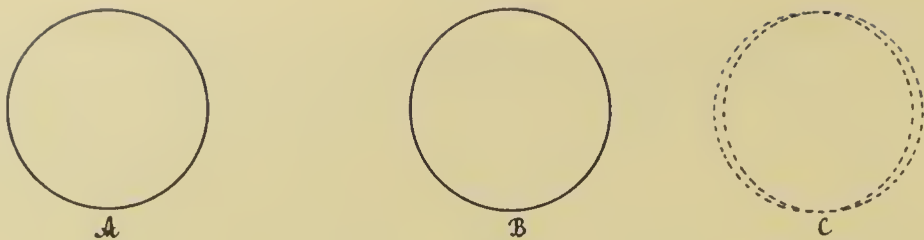


Fig. 76.

sehene Zirkel *B* als Doppelbild, etwa wie die punktierten Zirkel der Fig. *C*, erscheinen würde. Man sieht aber nie ein solches Doppelbild; höchstens erscheint der Zirkel etwas dicker als *A* und stets entschieden größer.

Um mich davon zu vergewissern, daß hier kein Selbstbetrug vorliegt, habe ich mehreren geübten Versuchspersonen die Aufgabe gestellt, eine konstante, binokular fixierte Linie mittels einer variablen, indirekt gesehenen zu messen, indem die letztere der ersteren gleich gemacht wurde. Ein besonderer, zwecks solcher Messungen hergestellter Apparat wurde hierzu angewandt. Die Versuchsperson veränderte selbst die Größe der variablen Strecke durch die Drehung eines Rades; die eingestellte Länge wurde von einem Assistenten an einem der Versuchsperson unsichtbaren Maßstab abgelesen. Die zu vergleichenden Linien waren 125 cm von den Augen der Versuchsperson entfernt und lagen stets parallel; übrigens war ihre gegenseitige Lage in den verschiedenen Versuchsreihen verschieden. In der Tab. 48 sind die Resultate der Messungen, die Mittel aus 32 Einzelbestimmungen, angeführt. In erster Linie ist die gegenseitige Entfernung der Mittelpunkte der zu vergleichenden Linien in Winkelmaß, in der ersten Kolonne links die Größe der konstanten Linie sowohl in Millimetern als in Gradzahlen angegeben. Die Zahlen der Tabelle geben das Verhältnis zwischen der indirekt gesehenen variablen und der fixierten konstanten Linie an. Die Zahlen zeigen, daß die Überschätzung der indirekt gesehenen Linie sowohl mit ihrer Länge als mit der Entfernung von der Netzhautmitte wächst.

Tabelle 48.

Abstand der Mittelpunkte	3° 40′		4° 35′	6° 23′	
Länge der konstanten Linie	*H. B.*	*A. L.*	*A. L.*	*H. J.*	*A. N.*
30 mm = 1° 22′ 30″	0,980	0,977	0,958	0,964	0,980
90 „ = 4° 7′ 20″		0,974			
100 „ = 4° 35′				0,934	0,945

Aus den angeführten Beobachtungen und Messungen geht also hervor: *Binokular und indirekt gesehene Figuren erscheinen im allgemeinen nicht doppelt, indem die beiden Bilder wie mon-*

okular und indirekt gesehene Doppelpunkte verschmelzen[1]. *Die verschmolzenen Doppelbilder erscheinen größer als ebenso große fixierte Figuren.*

Der letztere Satz hat selbstverständlich nur für das binokulare Sehen Gültigkeit; monukular und indirekt gesehene Figuren sind eher kleiner als die fixierten[2].

Die Bedeutung der korrespondierenden Punkte geht am besten aus der Tatsache hervor, daß zwei identische Objekte, zwei *Halbbilder*, zu einem *Ganzbild* verschmelzen, wenn sie sich auf korrespondierenden Punkten je einer Netzhaut abbilden. Betrachtet man zwei gleiche Figuren in passender gegenseitiger Entfernung (z. B. die Zirkel *A* und *B* der Fig. 76) auf die Weise, daß jede Figur nur von einem Auge gesehen wird, verschmelzen sie leicht. Man kann z. B. die Figuren durch zwei Röhren, die vor je ein Auge gehalten werden, betrachten; bei einer gewissen Konvergenz der Röhren entsteht ein Ganzbild, indem die Halbbilder sich decken. Bei geringer Übung kann man auch diese Verschmelzung ohne jeglichen Apparat zustande bringen, indem man einen fernen Punkt fixiert und dann die Zeichnung vor die Augen schiebt; man sieht dann anfangs gewöhnlich vier Bilder, von denen zwei bald verschmelzen. Die beiden übrigen rühren davon her, daß sich peripher im rechten Auge *A*, im linken Auge *B* abbildet. Man hat übrigens besondere Apparate, Haploskope und Stereoskope, konstruiert, um Doppelbilder einfach erscheinen zu lassen. Diese Apparate bieten jedem Auge nur ein Bild dar, und mittels Spiegel oder Linsen wird den von den Bildern reflektierten Lichtstrahlen eine solche Richtung gegeben, daß die Bilder an derselben Stelle im Raume gesehen werden und sich mithin decken.

Wenn die auf die eine oder die andere Weise vereinigten Halbbilder nicht völlig kongruent sind, können sie auch nicht überall auf korrespondierenden Punkten liegen. Dennoch erscheinen die nicht übereinstimmenden Teile im Ganzbild keineswegs immer doppelt, was von verschiedenen Ursachen herrühren kann. Ist die Disparation der Bilder nur gering, können sie nach dem oben angeführten Satze von der binokularen Verschmelzung überhaupt nicht unterschieden werden. Bei größerer Disparation werden die Doppelbilder allerdings be-

---

[1] Dieser Satz ist schon von Bourdon, a. a. O. S. 212, hervorgehoben.

[2] Guillery, Zeitschrift für Psychol. Bd. 10, S. 91.

merkt, decken sich aber sofort, wenn die betreffenden Punkte fixiert werden, und indem der Fixationspunkt über das ganze Bild wandert, verschmelzen die Doppelbilder fast vollständig. Dann werden aber die verschiedenen Teile der Figur in verschiedenen Entfernungen gesehen, das Bild erhält Relief, erscheint körperhaft. Dies geht zur Genüge aus den bekannten photographischen Stereoskopaufnahmen hervor, die indes gewöhnlich ohne Apparat zur Deckung nicht zu bringen sind, weil die Halbbilder zu groß sind. Die Fig. 77 ist so konstruiert, daß die Bilder sich von normalen Augen leicht vereinigen lassen, und wegen der Einfachheit der Figuren sind die Unterschiede der Halbbilder ohne Messung zu konstatieren. Die *stereoskopische Parallaxe,* d. h. der Unterschied der gegen-

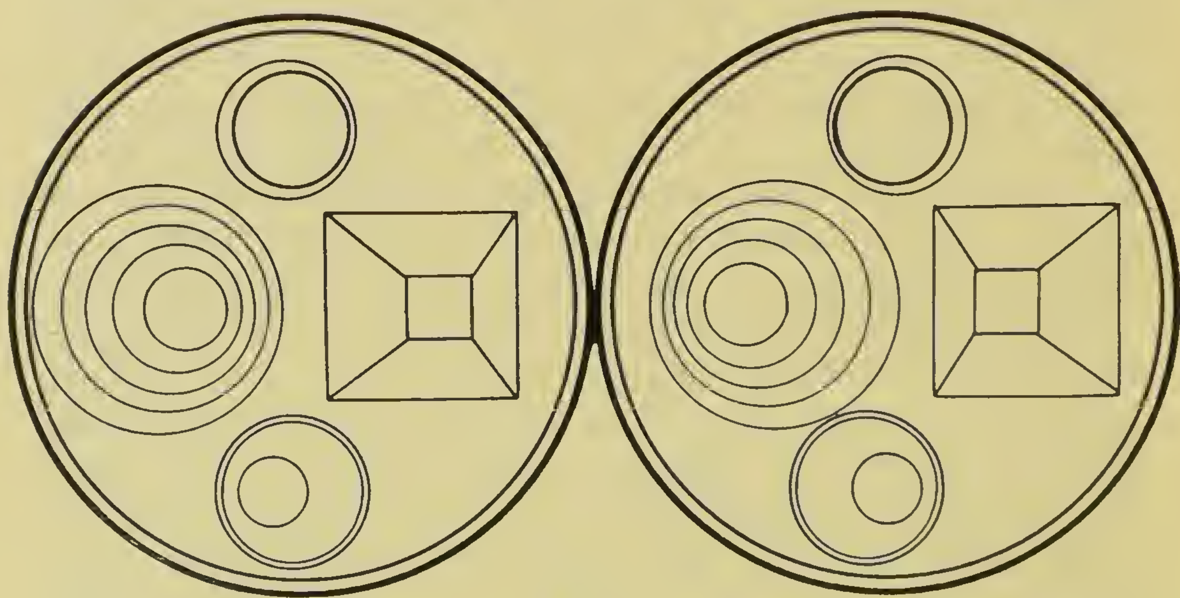


Fig. 77.

seitigen Entfernungen der sich deckenden Punkte, bedingt das Relief in der Art, das ein Punkt des Ganzbildes dem Auge um so näher erscheint, je geringer die Entfernung zwischen den betreffenden Punkten der Halbbilder ist. Es geht also hieraus hervor, daß *die Tiefendimension des Gesichtsraumes wahrgenommen wird, wenn nicht kongruente Bilder binokular zur Deckung gebracht werden.*

Wir sahen schon oben, wie die Objekte der Außenwelt sich in den beiden Augen oft recht verschieden abbilden. Es sei *ac* der Fig. 74 ein Stab. Auf der Netzhaut des linken Auges liegt das Bild α des Punktes *a* links, das Bild γ des Punktes *c* rechts; im rechten Auge liegen sie umgekehrt. Die beiden Bilder sind somit sehr verschieden, und wenn sie zur Deckung gebracht werden, was nur durch fortwährende Ver-

änderungen des Fixationspunktes möglich wird, kommt die Wahrnehmung eines in sagittaler Richtung liegenden Objektes zustande. In den meisten Fällen sind die Unterschiede der Bilder zwar nicht so groß, es reichen aber schon äußerst geringe stereoskopische Parallaxen hin, um einen Tiefenunterschied merklich zu machen; in 2 m Entfernung vom Auge ist der eben merkliche Tiefenunterschied 1,5 mm, in 200 m Entfernung 14 m [1]). Eine so feine U-E. ist nur durch die stereoskopische Parallaxe erklärlich, da die durch die Augenbewegungen vermittelte Tiefenwahrnehmung, was wir sofort sehen werden, bei weitem nicht so fein ist.

Wenn ein unendlich ferner Punkt *a* (Fig. 78) fixiert wird, sind die Blicklinien parallel. Wird dann ein Punkt *b* in der Blicklinie z. B. des linken Auges fixiert, behält dies Auge seine Stellung bei, während das rechte Auge sich um den Winkel *aob*, den *Konvergenzwinkel*, dreht, und je näher der Punkt *b* dem linken Auge liegt, um so größer wird dieser Winkel. Die beiden Augen sind also jetzt verschieden orientiert. Beim binokularen Sehen kommt daher stets ein doppeltes System von Spannungsempfindungen vor, indem die Stellung beider Augen nur bei der Fixation eines unendlich fernen Punktes dieselbe wird; liegt der Fixationspunkt in endlichem Abstand, kommt zur Drehung des einen Auges noch die Drehung des anderen Auges um den Konvergenzwinkel. Die Wahrnehmung der Entfernung kann also durch diese letztere Drehung vermittelt werden. Bei experimentellen Untersuchungen, wo die stereoskopische Parallaxe ausgeschaltet war, hat man nachgewiesen, daß Distanzveränderungen wirklich auf diese Weise aufgefaßt werden können. Nach Wundt [2]) wird in 1 m Entfernung eine Veränderung von 2 cm schon bemerkt, nach Bourdon [3])

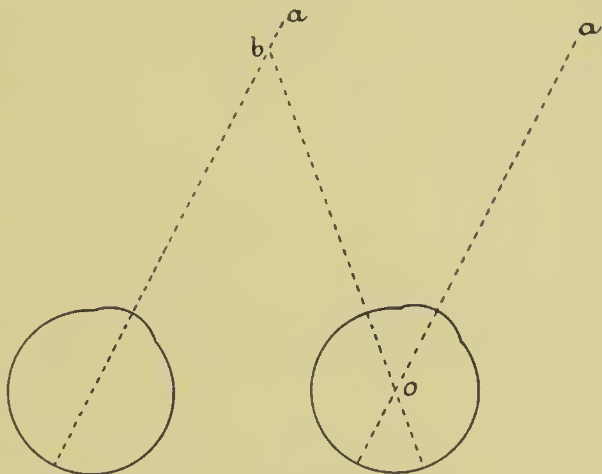


Fig. 78.

[1]) Bourdon, a. a. O. S. 251.
[2]) Phys. Psychol. 6. Aufl. Bd. 2, S. 637.
[3]) A. a. O. S. 227.

soll sie 12 cm sein; die Beurteilung der Entfernung ist also jedenfalls viel unsicherer als die der Distanzunterschiede gleichzeitig gegebener Punkte.

Neunundsiebzigstes Kapitel.

Täuschungen des Augenmaßes.

Gewisse Faktoren, wie die Durchsichtigkeit der Luft, die scheinbare Größe bekannter Objekte usw., spielen, wie oben erwähnt, eine nicht geringe Rolle bei der Beurteilung größerer Entfernungen. Hieraus folgt dann einfach, daß Täuschungen durch unkontrollierbare Variationen dieser verschiedenen Faktoren leicht entstehen können. Die Luftperspektive, die besonders großen Schwankungen unterliegt, kann recht merkwürdige Trugwahrnehmungen herbeiführen. Je reiner die Luft, um so schärfer treten die Objekte hervor; durch die dunsterfüllte Atmosphäre hindurch gesehen und noch mehr im Nebel werden alle Umrisse unbestimmt, verwischt. Da diese Wirkung mit der Entfernung der Gegenstände zunimmt, sind wir daran gewöhnt, den Abstand nach der Schärfe der Konturen zu beurteilen. In besonders klarer Luft werden bekannte Gegenstände daher näher als sonst erscheinen, und in unbekannten Gegenden schätzt man die Entfernungen ganz falsch. Der Bewohner des Tieflandes, der zum erstenmal in die reine Luft der Hochgebirge kommt, bildet sich die abenteuerlichsten Vorstellungen von den Abständen der verschiedenen Punkte, Berggipfel usw. In sehr dichtem Nebel, wo die Objekte nur aus nächster Nähe gesehen werden können, erscheinen sie stets übernatürlich groß. Wegen der Verwischung der Konturen wird der Abstand als sehr groß aufgefaßt; da der Gesichtswinkel indes der tatsächlichen geringen Entfernung entspricht, wird die scheinbare Größe der bekannten Gegenstände ganz ungeheuerlich. Hierzu trägt wohl ferner der Umstand bei, daß der Gesichtswinkel wegen der Zerstreuung des Lichtes durch die Wassertröpfchen zu groß wird. Man kann sich hiervon überzeugen, wenn man 6—10 cm über der einen Hälfte eines Papierstreifens auf dunklem Grunde ein fein geschliffenes Mattglas hält; der durch das Glas gesehene Teil des Streifens erscheint breiter als der andere. Hierauf beruht es z. T., daß uns die Sonne und der Mond beim Auf- oder Untergang größer vorkommen, als wenn sie höher am Himmel stehen. Enthält die Atmosphäre näm-

lich viel Staub und Wasserdampf, erscheinen die Himmelskörper rot, ihre Konturen verwischt, und dem unbewaffneten Auge wird der Gesichtswinkel daher größer, als wenn das Licht nicht zerstreut wäre.

Eine ganze Reihe verschiedener Täuschungen wird durch die physiologischen Eigentümlichkeiten des Auges verursacht. Sie treten an gewissen einfachen geometrischen Figuren und Mustern besonders deutlich hervor, weshalb sie gewöhnlich als die geometrisch-optischen Täuschungen bezeichnet werden. Diese Erscheinungen fallen in drei Gruppen, indem sie entweder die perspektivische Auffassung planer Figuren oder die Richtung gerader und krummer Linien oder die Größe der Linien und Flächen betreffen.

Obwohl schon eine außerordentlich große Arbeit darauf eingesetzt worden ist, den Ursachen dieser Täuschungen nachzuspüren, gehen die Ansichten noch weit auseinander, indem jeder Forscher seine eigene Theorie behauptet und ihr die möglichst große Tragweite zu geben sucht, während die relative Berechtigung anderer Erklärungsversuche selten zugegeben wird. In der Tat würde es nun äußerst merkwürdig sein, wenn so verschiedenartige Täuschungen sich auf dieselbe Weise erklären ließen. Zur Lösung des Problems führt daher nur der Weg, daß zuvörderst die Wirkungen festgestellt werden, die die verschiedenen, unsere Raumauffassung tatsächlich beeinflussenden Faktoren ausüben. Nur durch eine solche Untersuchung läßt es sich entscheiden, welche Erscheinungen durch bekannte Faktoren erklärt werden können, und welche die Aufstellung neuer Theorien erfordern. Diesen Weg zu gehen, scheint mir jedenfalls fruchtbarer als das jetzt übliche Verfahren, psychologische Ursachen zu erdichten, obwohl bekannte physiologische Faktoren eben die zu erklärenden Wirkungen herbeiführen können. Schon 1905 wurden daher die zu einer solchen Untersuchung nötigen Messungen in meinem Laboratorium in Angriff genommen, und die Arbeit ist jetzt durchgeführt. Es würde aber gar zu weitläufig sein, sie hier vollständig, und ganz unbefriedigend, sie nur auszugsweise darzustellen; die Beweisführung bedarf nämlich einer gewissen Breite, um die zahlreichen, größtenteils aus der Luft gegriffenen Annahmen und Behauptungen zu widerlegen. Die Arbeit muß daher als selbständige Abhandlung erscheinen, und ich beschränke mich hier auf eine kurze Angabe der Ergebnisse.

Die Ursachen der wesentlichsten bisher bekannten Täuschungen sind die folgenden sechs Momente, von denen die vier ersten schon im vorhergehenden erwähnt sind, nämlich: die dioptrische Irradiation, die retinale Irradiation, die Vergrößerung der binokular und indirekt gesehenen Strecken und die reflektorische Fixation der beachteten Punkte. Hierzu kommen noch die beiden Momente, auf die wir nicht näher

eingegangen sind, indem sie im allgemeinen für die Raumwahrnehmung keine wesentliche Bedeutung haben: die Asymmetrie der Augenbewegungen und die je nach Fixation und Blickrichtung verschiedene perspektivische Auffassung planer Figuren. Die verschiedenen Täuschungen rühren selten von einer einzigen Ursache her, weitaus häufiger wirken zwei oder drei der angeführten Momente zusammen.

III. Das Ich.

Achtzigstes Kapitel.

Das Ich und die Vorstellung vom Ich.

Das Bewußtseinsleben ist nicht einfach ein mit größerer oder geringerer Geschwindigkeit fließender Strom von Zuständen; es besteht nebenbei die Vorstellung, daß die wechselnden Erscheinungen Zustände eines Ich sind (S. 14). Das Ich hat zwar die verschiedenen Zustände, besteht aber andererseits nur durch dieselben und ist trotz dem Wechsel der Zustände dennoch stets dasselbe Ich. Hierzu kommt noch, daß die Bewußtseinserscheinungen, die Zustände des Ich, nur dadurch als bewußt erscheinen, daß sie vom Ich beobachtet werden; das Ich ist mithin nicht nur der Träger, sondern zugleich das seine eigenen Zustände beobachtende Subjekt.

Alle diese dem Anscheine nach sich widerstreitenden Eigentümlichkeiten sind zweifellos dem Ich zuzuschreiben, und es kann daher nicht wundernehmen, daß das Ich ein Lieblingsgebiet der philosophischen Spekulationen gewesen ist[1]) — und wohl noch eine geraume Zeit bleiben wird. Die Spekulationen der Philosophen gehen indes die Psychologie nichts an, die sich nur mit den Tatsachen zu beschäftigen hat, und wir untersuchen daher zuvörderst, wie sich das Ich der Selbstbeobachtung darstellt.

Die *Vorstellung vom Ich*, das empirische Ich, ist äußerst kompliziert. Man kann, wie James hervorhebt, zunächst drei verschiedene Iche, das materielle, das soziale und das geistige Ich unterscheiden[2]).

Im *materiellen* Ich spielt der Körper eine sehr wesentliche Rolle. Solange ich meiner bewußt bin, fehlt gewiß nie irgend-

[1]) Kafka: Das Ichproblem. Archiv für Psychol. Bd. 19, S. 1 u. f.
[2]) Principles of Psychology. London 1890, Bd. 1, S. 292 u. f.

eine Gruppe körperlicher Empfindungen, selbst wenn alle anderen Partialvorstellungen des Ich dem Bewußtsein entschwunden sind. Wenn man, in einer Arbeit vertieft, nur gelegentlich seiner selbst bewußt wird, ist es fast immer eine bestimmte körperliche Empfindung, ein Druck hier oder dort, die das Ich repräsentiert, und woran sich ein äußerst dunkles Erinnerungsbild des eigenen Körpers anschließt. Die körperlichen Empfindungen sind ebenfalls der erste Inhalt des Bewußtseins, wenn man aus einer Narkose oder sonstiger Bewußtlosigkeit erwacht, und die erste Bemerkung in diesem Falle ist gar häufig die Frage: „Wo bin ich?“, was darauf hinweist, daß die Orientierung des Körpers im Raume sofort notwendig erscheint. Zum materiellen Ich gehören ferner die Kleider und die Familie, Vater und Mutter, Weib und Kinder und die nächsten Verwandten. Was ihnen widerfährt, hat fast dieselbe Wirkung, als ob es das eigene körperliche Ich betroffen hätte. Hieran schließt sich ferner die Heimat, das Eigentum, jedes Ding, das mein genannt wird, besonders wenn es als Resultat eigener Tätigkeit hervorgegangen ist. Wer eine Sammlung oder das Manuskript eines größeren Werkes, das jahrelange Mühe gekostet hat, durch einen Unfall verliert, fühlt sich einfach vernichtet; das Ich und seine Leistung sind eins.

Das materielle Ich kann sich übrigens unter gewissen Umständen sehr erweitern, so daß es nicht nur Verwandte und Freunde, sondern alle Landsleute, ja sogar alle Menschen einschließen kann. Es ist aber leicht zu bemerken, daß das Ich sich z. B. von einem Unglück fremder Individuen um so mehr betroffen fühlt, je näher es sich der Unglücksstelle befindet. Man könnte fast versucht sein, zu behaupten, daß die Zugehörigkeit fremder Menschen zum Ich demselben Gesetze wie die materielle Anziehung unterliege: sie sei dem Quadrate der räumlichen Entfernung umgekehrt proportional (vgl. S. 702).

Das *soziale* Ich ist die Vorstellung des Individuums von seiner Bedeutung in Beziehung zu anderen Menschen. Diese Vorstellung entsteht durch die Beurteilung, die Anerkennung, die man von seiten seiner Genossen erfährt; der äußere Ausdruck dieser Anerkennung ist der Leumund eines Mannes. Die Beurteilung kann in den verschiedenen Kreisen, wo man sich bewegt, ganz verschieden ausfallen; der junge Mann kann z. B. als Sportsmann einen guten Namen haben, während seine Geschäftskollegen nichts weniger als zufrieden sind usw. Ein Mensch hat mithin ebenso viele Iche, als es Beziehungen gibt;

in welchen er zu anderen Menschen stehen kann, und diese Iche können mehr oder weniger verschieden sein. Als Hausvater, Gesellschafter, Geschäftsmann, im Verhältnis zu seinen Vorgesetzten und Untergebenen kann das Benehmen eines Mannes so verschieden sein, daß man ihn kaum wiedererkennt, wenn man ihn zufällig in einer neuen Lage begegnet. Die Schwankungen des Benehmens sind natürlich nur der äußere Ausdruck dafür, daß die verschiedenen Iche derselben Person grosse Differenzen aufweisen, was selbstverständlich der Fall gar nicht zu sein braucht.

Jedes soziale Ich hat übrigens, genau wie das materielle, einen festeren Kern, um den sich Gruppen von immer weniger bedeutungsvollen Momenten scharen. Den Kern, die Ehre des Mannes, bilden diejenigen positiven und negativen Handlungen, die in jedem Beruf, in jedem Kreise, wo Menschen in bestimmter Beziehung zueinander stehen, unerläßlich sind. So kann der Arzt z. B. während einer Epidemie eine angesteckte Stadt nicht verlassen, um seine Person in Sicherheit zu bringen, was der Soldat dagegen sehr wohl tun kann; umgekehrt in der Schlacht, wo es eher des Arztes Pflicht ist, sich der Gefahr nicht unnötig auszusetzen. Zwei Schulknaben können sich gegenseitig auf vielfache Weise bekriegen — aber klatschen dürfen sie nicht. In den erwähnten sowie in vielen anderen Fällen ist es leicht verständlich, warum man sich der betreffenden Handlung nicht schuldig machen kann, ohne auf jegliche Anerkennung seitens seiner Kollegen verzichten zu müssen; es gibt aber auch herkömmliche Forderungen, z. B. daß Spielschulden vor allen anderen bezahlt werden sollen, deren Sinn weniger verständlich ist. Die Bedeutung irgendeiner Handlung für das soziale Ich ist überhaupt keineswegs immer von ihrem moralischen Wert oder Unwert abhängig; die Ehre eines Mannes kann selbst in Kulturstaaten einfach unmoralische Taten (z. B. das Duellieren) erfordern.

Die verschiedenen sozialen Iche desselben Individuums können leicht in gegenseitigen Widerstreit geraten, indem die Forderungen des einen Ich die des anderen ausschließen. Schon durch den Umstand, daß jede neue Beziehung zu anderen Menschen eine gewisse Zeit beansprucht, wird die Anzahl der Iche beschränkt; man kann nicht gleichzeitig seinem Beruf oder Geschäft und allen möglichen Interessen nachgehen. Der Umfang des Ich muß somit begrenzt werden, was gewöhnlich auf die Weise geschieht, daß man die Beziehungen aufgibt,

wo man am wenigsten Aussicht hat, zu reüssieren. Das Gegenteil kommt aber auch vor; künstlerische Aspirationen z. B. werden oft trotz evidentester Talentlosigkeit hartnäckig gepflogen.

Das *geistige* Ich im weitesten Sinne ist der gesamte Inhalt des Bewußtseins, nicht nur der gegenwärtige, sondern auch der aller verflossenen Zeiten; in diesem Sinne ist das Ich einfach mit der Gesamtheit seiner Zustände identisch. Im Gegensatz zu dem materiellen und dem sozialen Ich können als speziell geistiges Ich die Vorstellungen des Individiuums von seinen psychischen Fähigkeiten und Leistungen sowie die Erinnerungen an seine Erlebnisse bezeichnet werden. Da die in einem gegebenen Augenblicke möglichen Erinnerungen eines Individuums durchaus nicht gleichbedeutend mit dem gesamten vorhergehenden Bewußtseinsinhalt sind, ist diese Fassung des geistigen Ich viel enger, zugleich aber von größerer praktischer Bedeutung, indem eben die Erinnerungen, wie wir später sehen werden, bei der sogenannten Einheit des Ich eine wesentliche Rolle spielen.

Entwicklung des Ich. Aus dem Angeführten ist ersichtlich, daß die Vorstellung vom Ich nur als Resultat einer langsamen Entwicklung zustande kommen kann. Schon die Entstehung des materiellen Ich bereitet nicht unerhebliche Schwierigkeiten, indem der eigene Körper als Gegenstand sinnlicher Wahrnehmung zur Außenwelt gehört und dennoch den Kern des materiellen Ich bildet. Das Kind muß also erst lernen, daß gewisse sichtbare und tastbare Objekte sich ganz anders als die übrigen verhalten, indem eine unsanfte Behandlung derselben von Schmerzen begleitet ist [1]). Zuvörderst wird diese Entdeckung mit Bezug auf die Hände und Arme gemacht, die das Kind meistens vor Augen hat und oft in den Mund führt. Der Unterschied zwischen Ich und Nicht-Ich dämmert schon, wenn das Kind merkt, daß es beim Saugen oder Zerren an seinen eigenen Fingern andere Empfindungen erhält, als wenn es mit anderen Objekten auf dieselbe Weise verfährt. Solange es aber noch Teile seines eigenen Organismus wie fremde Gegenstände behandelt, kann sich ihm der Unterschied zwischen Ich und der Außenwelt noch nicht fest eingeprägt haben. Wenn ein Kind z. B. im 14. Monat sich in den Oberarm beißt, so daß es unmittelbar darauf vor Schmerz aufschreit, kann es augen-

---

[1]) Preyer: Die Seele des Kindes. 2. Aufl. 1884. S. 392 u. f.

scheinlich an dem Zeitpunkte nicht wissen, daß der Arm ein Teil des Ich ist; wenn die Handlung aber nie später wiederholt wird, hat das Kind wahrscheinlich bei der Gelegenheit den Unterschied gelernt. Auf analoge Weise müssen die übrigen Grenzen zwischen dem eigenen körperlichen Ich und der Außenwelt gezogen werden. Da das eben erwähnte Kind im 19. Monate versuchte, den Fuß wie einen Schuh abzunehmen, waren ihm die Grenzen auf diesem Punkte augenscheinlich noch nicht klar, was wohl auch daraus hervorgeht, daß es im 23. Monate mehrmals seinem nackten Fuß einen Zwieback anbot. Erst gegen Ende des zweiten Lebensjahres vermochte dieses Kind also seinen eigenen Körper als Ich von allen anderen Gegenständen einigermaßen sicher auszuscheiden, und viel früher wird es im allgemeinen zweifellos nicht stattfinden.

Zur Unterscheidung zwischen Ich und Außenwelt tragen wahrscheinlich auch die Bewegungen der Glieder bei. Das Kind entdeckt, daß es durch solche Bewegungen Veränderungen an den bekannten Gegenständen der Umgebung herbeiführen kann, und daß die Bewegungen sich beliebig oft wiederholen lassen. Der eigene Körper wird somit nicht nur der Sitz unangenehmer Empfindungen, sondern auch die Ursache bestimmter Veränderungen, neuer Wahrnehmungen. Indem sich nun die mehr oder weniger vage Vorstellung von dem leidenden und handelnden Körper mit dem aus sämtlichen Organempfindungen resultierenden Gemeingefühl (S. 396) verknüpft, wird das Gemeingefühl hierdurch zum *Ichgefühl*. Diese Entwicklung ist wahrscheinlich im allgemeinen abgeschlossen, bevor das Kind gelernt hat, sich selbst als „Ich“ zu bezeichnen. Der richtige Gebrauch dieses Wortes setzt zweifellos das Ichgefühl voraus; das Gefühl entsteht aber nicht erst mit dem Gebrauche des Wortes. Ob ein Kind sich mit seinem Namen, als „ich“ oder als „du“ bezeichnet, ist manchmal recht zufällig, und besonders bei den Kindern, deren sprachliche Entwicklung sich verzögert hat, läßt sich leicht ein ausgesprochenes Ichgefühl lange vor der richtigen Anwendung der Worte konstatieren. Das Wort Ich wird somit nur das Symbol der schon bestehenden, komplizierten Vorstellung vom Ich.

Durch die hier dargestellte Entwicklung ist indes nur das rein körperliche Ich als etwas von der Außenwelt Verschiedenes gegeben. Das gesamte materielle Ich des Erwachsenen hat aber einen viel größeren Umfang als das körperliche, was mit anderen Worten heißt, das ein größerer oder geringerer Teil

der Außenwelt zum Ich gerechnet wird. Der Vorgang, wodurch das vom Ich Ausgeschaltete wieder ins Ich aufgenommen wird, ist recht kompliziert, indem Assoziation, Adaptation, Suggestion und Transfert der Gefühlstöne dazu beitragen. Wir können erst später auf diesen Punkt näher eingehen. (S. 696.)

Die Entwicklung des *sozialen* Ich muß viel später als die des materiellen anfangen. Erst wenn man bestimmte Forderungen an das Kind stellen kann, wenn es versteht, daß es dieses tun und jenes lassen soll, und sein Benehmen Gegenstand des Lobes und des Tadels werden kann, ist die Möglichkeit eines sozialen Ich gegeben. Lob und Tadel müssen indes als leere Worte dem Kinde ganz gleichgültig sein; es hat anfangs gar keine Veranlassung, sich um die Anerkennung der Umgebung zu kümmern. Erst die Strafe, die dem Ungehorsam folgt, lehrt das Kind, daß seine Beziehung zur Umgebung eine reale Bedeutung besitzt. Und hierdurch wird die Vorstellung von dieser Bedeutung ein Gegenstand der Aufmerksamkeit; das Kind lernt bald, daß die Beurteilung seitens der Umgebung ohne unangenehme Folgen nicht unbeachtet bleiben kann. Es sind hiermit die Anfänge eines sozialen Ich gebildet, so daß die an das Kind gestellten Forderungen wenigstens oft erfüllt werden, ohne daß die ausübende Gewalt tätig zu werden braucht. Unterläßt das Kind irgendeine Unart, weil es weiß, daß die Mutter ihm sonst zürnen wird, so liegt eine unverkennbare Äußerung des sozialen Ich vor. Mit wachsender Komplikation der Umgebung, in der Beziehung zu Geschwistern, Schulkameraden, Lehrern usw., wiederholt sich der erwähnte Vorgang, der anfangs nur den Eltern gegenüber zustande kam, und es bilden sich auf diese Weise die verschiedenen sozialen Iche des Kindes, die allmählich in die konstanteren Gebilde des Erwachsenen übergehen.

Es ist indes nur die eine, sozusagen negative Seite des sozialen Ich, die wir hier berücksichtigt haben. Das Kind lernt nämlich aus Erfahrung nicht nur, was die Umgebung, die Gesellschaft von ihm fordert und fordern kann, sondern andererseits auch, was es sich kraft seiner körperlichen und seelischen Fähigkeiten erlauben darf. Es merkt bald, bis zu welcher Grenze es den Befehlen der Eltern Gehorsam zu leisten braucht, und wo es sich darüber hinwegsetzen kann. Indem ferner die älteren Geschwister und Schulkameraden bestimmte Forderungen stellen, deren Erfüllung sie nötigenfalls erzwingen können, wird das Kind durch die suggestive Macht dieses

Beispieles dazu gebracht, ähnliche Forderungen an die jüngeren zu stellen, und es lernt bald, wie weit es sich in dieser Beziehung wagen darf. Auf diese Weise findet die positive Seite des sozialen Ich, die Herrschaft, die das Kind über seine Umgebungen ausüben kann, ihre natürlichen Grenzen, und der Vorgang wiederholt sich jedesmal, wenn das Individuum in neue Beziehungen zu seinen Mitmenschen tritt. Aus den mehr oder weniger vagen Vorstellungen des Individuums von seinem eigenen Wert, seiner Bedeutung auf verschiedenen Gebieten, resultiert das *Selbstgefühl*, das dem Ichgefühl des körperlichen Ich entspricht[1]).

Die Anfänge des *geistigen* Ich schließlich sind wohl in der Zeit zu suchen, wo sich eine einigermaßen zusammenhängende Erinnerung an die Erlebnisse bildet, was wahrscheinlich individuell sehr verschieden ist. Neue Momente treten in der Schulzeit hinzu, wo das Kind Gelegenheit hat, seine Leistungen mit denen seiner gleichaltrigen Kameraden zu vergleichen. Hieraus resultiert die Vorstellung von der körperlichen und seelischen Befähigung, die meistens recht objektiv werden muß, da sie fortwährend durch die Beurteilung seitens der Lehrer und der Kameraden korrigiert wird. Im späteren Leben dagegen, wo eine direkte Vergleichung mit anderen selten möglich ist, kommen aus leicht verständlichen Ursachen oft die merkwürdigsten Über- oder Unterschätzungen des eigenen Selbst vor.

Das Ich als Objekt und als Subjekt. Das Ich im oben dargestellten Sinne ist zwar eine sehr komplizierte Vorstellung, nichtsdestoweniger eine Vorstellung wie jede andere. Sie kann je den Umständen nach im Bewußtsein alleinherrschend sein, neben anderen Vorstellungen vorkommen oder von anderen Vorstellungen aus dem Bewußtsein völlig verdrängt sein; das Ich als Vorstellung befindet sich somit in ganz derselben Lage wie eine beliebige andere Vorstellung. Nun werden aber, wie schon erwähnt, sämtliche Bewußtseinserscheinungen als Zustände und Tätigkeiten des Ich aufgefaßt: „ich" sehe oder höre, fühle Lust oder Unlust, will oder will nicht usw. Es fragt sich dann,

---

[1]) Baldwin: Social and ethical interpretations in mental development. New York 1899, S. 9 u. f.. Mc Dougall: Introduction to social psychology. London 1909, S. 174 u. f. Die von Mc Dougall aufgestellten Instinkte, self-assertion und self-abasement, die als Grundlage des Selbstgefühls dienen sollen, sind augenscheinlich für die ganze Entwicklung durchaus überflüssig (vgl. S. 686).

wie sich diese Auffassung mit der Tatsache vereinigen lasse, daß das Ich selbst eine Vorstellung neben den übrigen Bewußtseinserscheinungen ist. Wie kann „Ich“ Subjekt sein, Zustände haben, wenn „Ich“ selbst im Bewußtsein vorgefunden wird, also ein Zustand ist? Und wenn die Ich-Vorstellung im Bewußtsein vorherrscht, was für ein Ich ist dann das Subjekt, das die Vorstellung vom Ich als Objekt in seinem Bewußtsein beobachtet?

Eine nicht seltene Antwort auf diese Frage ist, daß wir im Bewußtsein immer nur mehr oder weniger umfassende Teile des Ich vorfinden, während das Subjekt stets das Ich als Gesamtheit, also besonders diejenigen Teile desselben sei, die eben nicht Objekte der Selbstbeobachtung sind. Eine solche Auffassung scheint aber bei näherer Betrachtung nichts weniger als eine Erklärung zu sein. Gehen wir nämlich davon aus, daß die Vorstellungen vom Ich, die in einem Augenblick Objekte der Selbstbeobachtung sind, im nächsten Momente, wenn sie dem Bewußtsein entschwunden sind, als Subjekt auftreten können, so wird es durchaus unverständlich, warum die Bewußtseinsphänomene immer als Zustände eines Ich erscheinen. Das empirische, im Bewußtsein gegebene Ich ist ja nur eine Vorstellung neben vielen anderen. Kann also die Vorstellung vom Ich als Subjekt auftreten und z. B. die Vorstellung von einem Tisch „haben“, so muß gelegentlich auch die Vorstellung vom Tische Subjekt werden und die Vorstellung vom Ich „haben“ können. Etwas Derartiges kommt aber nie vor; ein beliebiges Objekt der inneren Wahrnehmung, irgendeine Vorstellung, kann augenscheinlich nicht als Subjekt auftreten, und wir dürfen daher auch nicht der Vorstellung vom Ich eine solche, der Natur der Vorstellungen durchaus widerstreitende Fähigkeit zuschreiben. Hieraus folgt dann ferner, daß das Subjekt sich nie im Bewußtsein nachweisen läßt. Sobald es nämlich im Bewußtsein vorkommt, ist es Objekt, Vorstellung, und kann nicht Subjekt werden.

Wenn wir aber das Ich, dessen Zustände der Bewußtseinsinhalt ist, im Bewußtsein nicht nachweisen können, wie sind wir dann zur Vorstellung vom Ich als Subjekt gekommen? Zweifelsohne ist diese Vorstellung nur eine Abstraktion, die fälschlich als etwas Reales, Existierendes aufgefaßt wird. Tatsächlich verändert sich das empirische Ich, die im Bewußtsein gegebene komplizierte Ichvorstellung nur langsam und beim Erwachsenen unter normalen Umständen äußerst wenig. Da

das materielle Ich, das vom Körper abhängige Ichgefühl, stets eine wesentliche Partialerscheinung der Ichvorstellung bildet, ist schon hierdurch die relative Konstanz dieser Vorstellung gesichert. Diese beiden Momente, das Vorherrschen des Ichgefühls, das meistens neben anderen Vorstellungen im Bewußtsein gegenwärtig ist, und die Konstanz der komplizierten Ichvorstellung, tragen je auf ihre Weise zur Bildung des abstrakten Ich bei. Erstens ist „Ich“ nämlich in fast allen praktischen Beziehungen, auch für den reflektierenden Psychologen, in der Hauptsache mit dem materiellen Ich, dem Körper, identisch. Es hat daher insofern einen sehr verständlichen Sinn, zu behaupten: „Ich (d. h. der Körper) habe diesen Bewußtseinszustand“; denn der Körper ist ja unleugbar der Träger des Seelenlebens. Durch diese Identifikation des Ich mit dem Körper ist somit die Vorstellung vom Ich als *Träger* der seelischen Erscheinungen zustande gekommen, welche Vorstellung allerdings jeglichen Sinn verliert, sobald unter Ich etwas anderes als der individuelle Organismus, der Sitz der psycho-physiologischen Vorgänge verstanden wird. Es kommen nun aber ferner die konstanten Ichvorstellungen in Betracht. Wenn eine Gruppe von Erscheinungen unter sehr verschiedenen Umständen wesentlich unverändert im Bewußtsein hervortritt, so schließen wir stets, daß diese Erscheinungen die Äußerungen eines Dinges sind, das trotz dem Wechsel der Umgebung konstant bleibt. Kommen die Bewußtseinserscheinungen durch Reizung der Sinnesorgane zustande, wird als Ursache ein äußerer Gegenstand angenommen; die Ichvorstellungen, die von keinen äußeren Reizen abhängig sind, werden dagegen auf eine innere Ursache, das reine oder abstrakte Ich, bezogen. Die Richtigkeit dieser letzteren Folgerung, daß das abstrakte Ich reale Existenz habe, wird einfach davon abhängig sein, ob die Annahme unvermeidlich ist, indem die Tatsachen sich nur mittels derselben erklären lassen. Sehen wir also nach, inwiefern durch diese Hypothese die Beziehungen des Ich verständlich werden.

Dem abstrakten Ich ist eine ganze Reihe von Funktionen zuzuschreiben. Erstens sind die Ichvorstellungen, wie wir eben gesehen haben, seine Äußerungsformen, durch dieselben tut es sich im Bewußtsein kund. Ferner übernimmt es, als das eigentliche und das innerste Wesen des Ich, die Funktion als Träger der psychischen Erscheinungen. Nicht nur die Ichvorstellungen, sondern überhaupt alle Bewußtseinsinhalte sind

Zustände des reinen Ich. Und schließlich ist es dasselbe Ich, dem die Bewußtseinsphänomene erscheinen; das Ich ist das Subjekt, das das Auftreten der seelischen Zustände im Bewußtsein beobachtet. Wie so verschiedenartige Funktionen von demselben Wesen ausgeübt werden können, ist nicht leicht einzusehen, und eben deshalb haben sich die Philosophen — bisher zwar vergebens — bemüht, die Sache auseinanderzusetzen. Es ist aber eine psychologische Tatsache, daß wir uns das hinter dem Bewußtseinsinhalt steckende, reine Ich nicht nur als Träger, sondern zugleich als Subjekt, Beobachter der seelischen Erscheinungen denken, und indem es sich selbst beobachtet, erscheint es als Ichvorstellungen, die ebenfalls seine eigenen Zustände sind. Die mit der Kombination aller dieser Funktionen verbundenen Schwierigkeiten lösen sich leicht, sobald wir daran festhalten, daß *das reine Ich nur eine Abstraktion ist.* Die Annahme, daß diese Abstraktion reale Existenz habe, ist so weit davon entfernt, die Beziehungen des Ich zu seinen Zuständen zu erklären, daß im Gegenteil alle Schwierigkeiten erst durch dies Postulat entstehen. Die Bewußtseinszustände sind einfach gegeben, sie brauchen nicht erst irgendeinem transzendenten Subjekt zu erscheinen. Nehmen wir an, daß sie von einem solchen Wesen beobachtet werden, so müssen sie in demselben gewisse Veränderungen hervorrufen, die dann, um wahrgenommen zu werden, ein neues beobachtendes Subjekt erfordern, usw. ins Unendliche. Die Bewußtseinszustände werden ferner nicht erst dadurch meine Zustände, daß sie von einem Ich beobachtet werden, sondern einfach, indem sie mit den relativ konstanten Ichvorstellungen verknüpft werden. Und die Ichvorstellungen wiederum können sehr wohl auf ein Ich bezogen werden, ohne die Äußerungen eines transzendenten Subjekts zu sein; es ist nur erforderlich. daß sie durch einen besonderen Vorgang einheitlich verknüpft werden.

Diese Annahme, daß die Partialerscheinungen nur durch einen bestimmten Vorgang zu einer Gesamtvorstellung verbunden werden, brauchen wir eigentlich nicht speziell für die Ichvorstellung zu behaupten. An verschiedenen Stellen im vorhergehenden (S. 137 u. 472) wurde hervorgehoben, wie sowohl physiologische als psychologische Tatsachen dafür sprechen, daß eine komplizierte Wahrnehmung oder Vorstellung einfach nicht in einer Reihe einfacherer Zustände besteht, sondern daß diese Partialerscheinungen nur dann als Einheit aufgefaßt

werden, wenn sie durch einen Vorgang in einem Assoziationszentrum verknüpft sind. Dieser Auffassung zufolge erregen also die verschiedenen visuellen, akustischen, kinästhetischen und sprachlich-motorischen Faktoren einer Vorstellung nicht nur die betreffenden Zentren, sondern zugleich eine gemeinsame Neuronengruppe, wodurch sie erst aufeinander bezogen werden. Und es ist jedenfalls nicht unwahrscheinlich, daß die sogenannte „Bewußtheit" von einer Sache eben durch die isolierte Reizung einer solchen gemeinsamen Neuronengruppe, ohne gleichzeitige Erregung der anschaulichen Faktoren, zustande komme (S. 472). Ein analoges Verhältnis ist dann in bezug auf die Ichvorstellung anzunehmen. *Das individuelle Ich kommt hiernach nur dadurch zustande, daß die zahlreichen Erregungen der Sinnessphären und der sekundären Zentren, die den verschiedenen Ichvorstellungen entsprechen, durch die gleichzeitige Erregung einer gemeinsamen Neuronengruppe zu einer Einheit verknüpft werden.* Eine solche Annahme ist zwar eine Hypothese, deren Gültigkeit sich schwerlich dartun läßt, sie hat aber vor der Annahme eines transzendenten Subjekts den Vorteil, daß sie erstens zu keinen unslöslichen Rätseln führt und zweitens, wie wir im folgenden sehen werden, die Beziehung des Ich zu seinen Zuständen und Tätigkeiten sehr leicht erklärt.

Einundachtzigstes Kapitel.

Die Zustände und Tätigkeiten des Ich.

Das Ich, wovon im folgenden die Rede sein wird, ist ausschließlich das empirische Ich, die Ichvorstellungen, die fast stets in irgendeiner Form im Bewußtsein gegenwärtig sind und durch die Beziehungen, in welche sie zu den übrigen Bewußtseinserscheinungen treten können, immer einen entscheidenden Einfluß auf den Verlauf des gesamten Zustandes ausüben. Das abstrakte Subjekt-Ich ist unserer Auffassung zufolge zwar auch nur eine Vorstellung (Bewußtheit), es hat aber in praktischer Beziehung, als Vorstellung oder Bewußtheit, wahrscheinlich äußerst geringe Bedeutung. Meines Erachtens tritt es, wie alle sonstigen Abstraktionen, nur als Grundlage allgemeiner theoretischer Erwägungen hervor, und wir können daher hiervon völlig absehen.

Das Ich verhält sich, wie schon hervorgehoben, in der Beziehung wie jede andere Vorstellung, daß es vom übrigen

Bewußtseinsinhalt mehr oder weniger gehemmt werden kann. Es kommt denn auch tatsächlich vor, daß man beim intensiven Denken oder Beobachten sich selber völlig vergißt; in den meisten Fällen bleibt jedoch ein dunkles Ichgefühl neben dem übrigen Inhalt des Bewußtseins bestehend. Diese *Schwankungen der Klarheit des Ich* sind oft recht zufällig; so kann z. B. eine während der Arbeit eingenommene, weniger bequeme Stellung eine unangenehme körperliche Empfindung erregen, wodurch das Ichgefühl sofort merklicher wird. Selbstverständlich kann eine solche größere Klarheit des Ich nicht ohne Hemmung des übrigen Bewußtseinsinhaltes verlaufen, was bisweilen recht störend sein kann; weitreichenderer Einfluß scheint aber diesen Klarheitsveränderungen nicht beigemessen werden zu können.

Neben den erwähnten Klarheitsveränderungen des Ich, die wohl jeden Wechsel des Bewußtseinsinhaltes begleiten, gibt es auch *qualitative Veränderungen des Ich*, die viel seltener vorkommen, aber eben deshalb um so bedeutungsvoller werden. Selbst stark gefühlsbetonte Wahrnehmungen und Vorstellungen können auftreten, ohne daß das Ich sich auf irgendeinem Punkte dadurch merklich verändert; die Gefühle sind natürlich wie alle anderen Zustände „meine“ Gefühle, die gegenwärtigen Ichvorstellungen werden aber durch die Gefühle nicht beeinflußt. Sobald aber irgend etwas dem Ich direkt nützlich oder schädlich, fördernd oder herabsetzend erscheint, wodurch eine bevorstehende qualitative Veränderung des Ich also zu erwarten steht, erhält der gesamte Zustand einen ganz anderen Charakter. Während die Gefühle beim unveränderten Ich stets „ruhig“ sind, erhalten sie im letzteren Falle einen stürmischen Verlauf: das Gefühl wird Gemütsbewegung.

Erläutern wir die Sache durch einige Beispiele. Ein reicher Freund zeigt mir gelegentlich eine interessante alte Urkunde, die vor einem Jahrhundert einem berühmten Manne meines Vaterlandes ausgefertigt wurde, und die sich sowohl durch ihre künstlerische Ausstattung als durch ihre historische Bedeutung auszeichnet. Nebenbei repräsentiert das Papier ein kleines Vermögen, indem es seinem Eigentümer eine nette jährliche Einnahme gibt. Ich besichtige dies Dokument und bewundere es sowohl in ästhetischer als in geschichtlicher Beziehung; trotz der erregten lebhaften Lustgefühle stehe ich aber dem Papier nur als Beobachter gegenüber, und von einer merklichen Veränderung meines Ich kann dabei keine Rede sein. Plötzlich ändert sich aber die Sachlage, indem mein Freund trocken bemerkt: „Ich schenke dir die Urkunde mit allen daran geknüpften Rechten.“ Anfangs fasse ich diese Worte natürlich nur als Spaß auf; bald überzeugen mich aber einige fernere Bemerkungen vom

Ernste seiner Absicht. Es braucht nicht auseinandergesetzt zu werden, wie diese Schenkung, die mir erlaubt, einen lange gehegten Plan zu realisieren, mein ganzes Ich verändert, es sowohl in materieller als sozialer und geistiger Beziehung fördert. Und diese Revolution, die noch gar nicht stattgefunden hat und mir nur in den allgemeinsten Zügen vorschwebt, kann wegen ihrer tief eingreifenden Beeinflussung meines gesamten Zustandes nur als „Gemütsbewegung" charakterisiert werden.

In dem erwähnten Falle waren sowohl die ursprünglichen Gefühle als die durch die veränderte Sachlage herbeigeführte Gemütsbewegung lustbetont; die beiden Zustände können aber auch sehr wohl entgegengesetzter Betonung sein. Betrachte ich in einem zoologischen Garten einen großen, prachtvollen Tiger, so ist dieser Anblick entschieden lustbetont, und die Lust ist ein ruhiger, ästhetischer Genuß, wobei mein Ich sich nur wenig merkbar macht. Entdecke ich aber plötzlich, daß die Tür des Käfigs geöffnet ist und der Tiger sich zum Herausspringen anschickt, wird mein Gemützustand zweifellos in Unlust umschlagen. Gleichzeitig verändert sich der Zustand auch in der Beziehung, daß das Ich keineswegs der ruhige Beobachter bleibt, sondern sich direkt durch die demselben drohende Gefahr verändert fühlt; der ästhetische Genuß schlägt plözlich in eine heftige Gemütsbewegung um.

Analoge, wenngleich weniger drastische Beispiele können wir im Alltagsleben häufig beobachten. Man wird gewiß in allen Fällen finden, daß eine merkbare qualitative Veränderung des Ich, die mit einem Gefühl einhergeht, sofort dem Gefühl den Charakter der Gemütsbewegung verleiht. In allen bekannten Affekten, die wir mit bestimmten Namen bezeichnen (Freude, Kummer, Zorn, Furcht, Scham usw.), finden wir ohne Ausnahme, daß das Ich einer gewissen Veränderung unterliegt oder erwartet, einer solchen zu unterliegen, und der besondere Charakter des Affektes ist eben durch die Art dieser Veränderung bestimmt. Da nun ferner die Ichvorstellungen wegen ihrer außerordentlichen Komplikation sich kaum an irgendeinem Punkte modifizieren lassen, ohne daß das ganze Bewußtseinsleben dadurch beeinflußt wird, so ist es unschwer verständlich, daß eben solche Veränderungen vor allen anderen als Gemütsbewegungen bezeichnet werden. Wir können daher feststellen: *Eine Gemütsbewegung ist ein mehr oder weniger komplizierter Gefühlszustand, womit eine merkbare Veränderung des Ich einhergeht.*

Dieser Bestimmung der Gemütsbewegung zufolge wird man beim kleinen Kinde schwerlich von Gemütsbewegungen im eigentlichen Sinne reden können, einfach weil auf dieser Entwicklungsstufe noch kein Ichgefühl besteht und mithin eine

Veränderung desselben unmöglich empfunden werden kann. Nur die Anfänge gewisser Affekte, die der Erhaltung des Organismus unentbehrlich sind, kommen hier als Instinkte vor, die dann mit wachsender Entwicklung in Affekte übergehen. Auf diesen Punkt kommen wir bei der Darstellung der einzelnen Affekte zurück.

Im Gegensatz zu den Gemütsbewegungen stehen die Gefühle, die von keiner merkbaren Veränderung des Ich begleitet sind. Solchen Gefühlen gegenüber steht man also fast als ruhiger Beobachter. Obwohl die Lust und die Unlust zweifellos, wie wir gesehen haben (S. 398), in inniger Beziehung zum Wohl und Wehe des Organismus stehen, brauchen die betreffenden körperlichen Veränderungen keine merkbaren Störungen des Ichgefühls herbeizuführen. Eine Farbenkombination, ja sogar ein kompliziertes polychromes Ornament kann entschieden schön — oder häßlich — gefunden werden, ohne daß das Ich, das diese Gefühle hat, sich dadurch im geringsten gestört fühlt. Mit Bezug auf Naturszenerien verhält es sich meistens ebenso; es kommt aber auch hier und dort vor, daß die Natur einen so gewaltigen Eindruck macht, daß die Gemütsruhe gestört wird, und die ästhetische Betrachtung weicht dann einer Gemütsbewegung. Was hier nur beispielsweise angeführt worden ist, scheint sich durchweg zu bestätigen: die Zustände, die wir im Gegensatz zu den Gemütsbewegungen als Gefühle bezeichnen können, sind größtenteils sogenannte ästhetische Gefühle, die sich also dadurch charakterisieren lassen, daß das Ich sich durch diese gefühlsbetonten Zustände keiner Veränderung unmittelbar bewußt wird.

Gegen diese Auffassung läßt sich der naheliegende Einwand erheben, daß viele Kunstarten, Musik, Malerei, Skulptur und vor allem die Dichtkunst, eben darauf abzielen, bestimmte Gemütsbewegungen zu erregen. Es gibt wohl kaum irgendeinen Affekt, den der Dichter in seinen Dienst nicht nehmen und in dem Leser nicht erwecken kann, so daß mithin alle Gemütsbewegungen als Glieder des ästhetischen Genusses eingehen können. Tatsache ist, daß man durch Darstellungen in Tönen, Bildern oder Worten so lebhaft in Gemütsbewegung versetzt werden kann, daß alle körperlichen Begleiterscheinungen des betreffenden Affektes sich äußern. Es leuchtet aber andererseits ein, daß die Gemütsbewegung, die man fühlt, wenn man sich gleichzeitig bewußt ist, in seiner gemütlichen Stube zu sitzen und einen Roman zu lesen, mit einer erlebten Ge-

mütsbewegung nicht einfach identisch sein kann. Es kann auch nicht zweifelhaft sein, worin der wesentliche Unterschied besteht. Beim erlebten Affekt erleidet das Ich alle diejenigen Veränderungen, die den betreffenden Affekt charakterisieren; beim „vorgestellten" Affekt dagegen wird das Ich kaum gestört: ich weiß ja, daß ich sehr bequem sitze und lese. Nichtsdestoweniger besteht ein lebhafter Affekt, den ich habe, obwohl dieser Zustand eigentlich nur den betreffenden Personen des Buches beigelegt wird. Es wird also die Frage, wie diese sich anscheinend widersprechenden Verhältnisse zu vereinigen sind.

Wir sahen schon oben (S. 473), wie eine früher erlebte Gemütsbewegung in zwei verschiedenen Formen wiederkehren kann, die wir als vorgestellte und als wiedererlebte Gefühle bezeichneten. Im ersteren Falle steht das Gefühl als ein Ereignis da, das das eigene Ich kaum angeht; man verhält sich demselben gegenüber fast, als wäre es von einer fremden Person erlebt. Im letzteren Falle dagegen kehrt die ganze Gemütsbewegung wieder, zuweilen sogar stärker als beim ursprünglichen Erlebnis. Es leuchtet nun ferner ein, daß die bildliche oder schriftliche Darstellung einer Gemütsbewegung nur dann in dem Betrachter oder Leser ein entsprechendes Gefühl hervorrufen kann, wenn die betreffende Person früher etwas Ähnliches erlebt hat. Handelt es sich um eine bestimmte, vom Dichter oder Maler dargestellte Situation, in der man früher selbst gewesen ist, können die damals erlebten Gefühle entweder vorgestellt oder wiedererlebt werden. Sind dagegen, wie z. B. bei Skulpturarbeiten, keine Situationen, sondern nur die Affektäußerungen versinnlicht, kann ein entsprechendes Gefühl nur dadurch erregt werden, daß diese Affektäußerungen beim Betrachter zustande kommen, was jedoch erfordert, daß die bestimmte Kombination von Mienen und Gebärden entweder schon einmal dagewesen ist oder sich aus früheren Erlebnissen zusammenstellen läßt. Wie wenig die Darstellung einer Gemütsbewegung, die man aus eigener Erfahrung gar nicht kennt, Eindruck machen kann, geht wohl am besten aus der sich immer bestätigenden Tatsache hervor, daß das Verständnis für ein Dichterwerk im reiferen Alter viel inniger wird, als es beim ersten Lesen in der Jugend war. Die Gemütsbewegungen, wozu das Kind noch nicht reif ist, werden überhaupt nicht erregt.

Irgendeine bildliche oder schriftliche Darstellung wird also nur solche Gefühle erwecken, die jedenfalls in den Hauptzügen

früher erlebt worden sind oder aus solchen kombiniert werden können. Sie treten dann entweder als vorgestellte oder als wiedererlebte Gefühle auf. Eine weniger fesselnde Darstellung, die uns nicht recht glaubwürdig erscheint, vermag nur den matten Nachhall des bezweckten Gefühls zu erwecken, den wir als ein vorgestelltes Gefühl bezeichnet haben. Werden wir dagegen von der Darstellung „ergriffen“, heißt dies mit anderen Worten nur, daß wirkliche Gemütsbewegungen erregt werden, was durch die tatsächlich hervorgerufenen Affektäußerungen, Tränen, Herzklopfen usw., über jeden Zweifel erhaben ist. Diese Affektäußerungen betreffen aber nicht mein zentrales Ich: ich weiß ja sehr wohl, daß ich mich in keiner gefährlichen oder traurigen Situation befinde, sondern einfach lese. Das Ich ist aber, wie wir wissen, ein sehr kompliziertes und umfangreiches Gebilde, wozu unter gewissen Umständen alle lebenden Wesen gehören. Der Held, von dem ich lese, und der mein Interesse gefesselt, bestimmte Erwartungen erweckt hat, ist eben hierdurch ein Teil des Ich geworden. Jede Gemütsbewegung dieser Person ist daher auch die meinige: da sie aber mein zentrales körperliches Ich nicht betrifft, wird sie nicht einfach erlebt, sondern liegt irgendwo zwischen dem wirklichen Erlebnis und der nur vorgestellten Gemütsbewegung. Es ist übrigens leicht ersichtlich, daß hier die Möglichkeit einer fast unbegrenzten Reihe Abstufungen gegeben ist. Der Romanheld, den ich als eine nicht existierende Person auffasse, steht meinem zentralen Ich sehr fern, und eben deshalb werden die von seinem Schicksal erregten Affekte nur *ästhetischer Genuß*. Ganz dieselben Verhältnisse, in einer Biographie vorkommend, würden schon, weil sie einst einen lebenden Menschen betroffen hätten, etwas ernster genommen werden und um so mehr, je näher die betreffende Person mir und meiner Zeit stände. Die unter solchen Umständen erregten Gefühle werden nicht einfach als ästhetische, sondern als *sympathische* bezeichnet. Durch immer größere Annäherung der betreffenden Person an das zentrale Ich gehen die sympathischen Gefühle ganz allmählich in die erlebten Gemütsbewegungen über. Hier eine Grenze zu ziehen, kann sehr schwierig sein; in vielen Beziehungen können die nächsten Verwandten dem eigenen Ich so nahe stehen, daß es keinen Unterschied macht, ob ein Ereignis das eine oder das andere Mitglied der Familie trifft. Weiß man z. B., daß einer der nächsten Verwandten sich in Lebensgefahr befindet, ohne daß man auf irgendeine Weise

Hilfe leisten kann, ist die Furcht vielleicht noch stärker, als wenn man sich persönlich in derselben Situation befunden hätte. Die sympathische kann also eine ebenso wirklich erlebte Gemütsbewegung sein wie diejenige, die das persönliche Ich betrifft, und es ist mithin unzutreffend, nur die letztere als wirklich erlebte Gemütsbewegung zu bezeichnen. Wir können sie daher, im Gegensatz zu der sympathischen, die *autopathische* Gemütsbewegung nennen. Unsere Resultate können wir hiernach folgendermaßen formulieren:

Da das Ich einen sehr großen Umfang hat und schließlich alle lebenden Wesen umfaßt, können durch Veränderungen irgendeines Teiles des Inhaltes alle möglichen Abstufungen von Gemütsbewegungen entstehen. Beziehen sich die erregten Veränderungen auf das zentrale Ich, liegt eine autopathische Gemütsbewegung vor, und indem immer mehr periphere Teile des Ich betroffen werden, gehen die Gemütsbewegungen allmählich durch die sympathischen in die ästhetischen über, wodurch sie sich den nur vorgestellten Gefühlen immer mehr nähern.

Die Tatsache, daß bei der Gemütsbewegung eine merkliche Veränderung des Ich besteht, läßt sich mit anderen Worten auch so ausdrücken: Die Gemütsbewegung ist eine Umstimmung des Ich. Der veränderte Zustand des Ich dauert oft viel länger als die gefühlsbetonten Wahrnehmungen oder Vorstellungen, die die Umstimmung herbeiführen, und wird einfach als *Stimmung* bezeichnet. Während einer bestimmten Stimmung können geringfügige Ursachen leicht ein Wiederauflodern des Affektes verursachen, so daß jede Stimmung augenscheinlich als Disposition zu einer bestimmten Gemütsbewegung aufzufassen ist. Es können indes auch manchmal Stimmungen ohne vorhergehende Affekte entstehen, und die Ursache der Erscheinung ist dann oft schwer nachzuweisen; in allen Fällen tritt aber die Stimmung als eine mit Lust oder Unlust verbundene, merkliche Veränderung des Ich auf. Dem Anschein nach liegen also hier Gefühlszustände vor, die an keinen Vorstellungsinhalt gebunden sind. Nun kommt aber eine Gemütsbewegung ohne Veränderungen der vegetativen Vorgänge nicht vor; die Umstimmung des körperlichen Ich beruht eben auf den hierdurch erregten Organempfindungen, die somit der Empfindungsinhalt des Gefühlszustandes sind. Und da der veränderte organische Zuztand ebenso lange wie die Stimmung dauert, sind die Veränderungen der vegetativen Vorgänge auch z. T. als die physiologische Ursache derselben anzusehen. Auf

diesen Punkt kommen wir unten (S. 728) zurück. Die Wirkungen solcher Umstimmungen wurden schon früher erörtert (S. 389).

Bisher war nur von den seelischen Zuständen und besonders von den gefühlsbetonten die Rede, da diese letzteren hauptsächlich in engerer Beziehung zum Ich stehen. Dasselbe gilt aber auch von den psychischen *Tätigkeiten*, durch welche das Ich sich vorzugsweise zu bekunden scheint. Daß es sich so verhält, ist unschwer verständlich. Jede psychische Tätigkeit, sei es eine innere, sei es eine äußere, motorische, setzt, wie wir gesehen haben, eine Lenkung der Aufmerksamkeit voraus, die durch ein Beachtungsmotiv zustande gebracht wird. Das Beachtungsmotiv ist aber die gefühlsbetonte Vorstellung von einem Zweck, den das Ich zu realisieren sucht. Dies heißt mit anderen Worten nur, daß irgendeine Vorstellung, die dem Ich direkt oder indirekt förderlich erscheint und mithin von einer mehr oder weniger ausgesprochenen Gemütsbewegung begleitet ist, diejenigen psychophysiologischen Wirkungen hervorbringt, die wir als Lenkung der Aufmerksamkeit bezeichnen (vgl. S. 510). Jede psychische Tätigkeit, jede willkürliche Aufmerksamkeitsveränderung setzt also nicht nur die Mitwirkung des empirischen Ich voraus, sondern fängt wohl auch immer damit an, daß das Ich sich durch irgendeine Vorstellung gefördert oder herabgesetzt fühlt. Nur wenn diese Beziehung zustande kommt, wenn also *das Ich als Ursache der folgenden Vorgänge erscheint, reden wir von einer willkürlichen Tätigkeit.*

Um die Sache zu erläutern, gehen wir auf ein früher (S. 505) kurz erwähntes Beispiel etwas näher ein. Wenn es mir während eines Versuches einfällt, daß sich eine bestimmte Wirkung mittels eines gewissen Stoffes erreichen läßt, wird die Vorstellung von dem zu erreichenden Zweck das Beachtungsmotiv, das meine Aufmerksamkeit auf eine bestimmte Flasche lenkt. In dieser zweifellos richtigen Darstellung sind indes nur die letzten Glieder eines komplizierten Vorstellungslaufs von wechselnder Gefühlsbetonung hervorgehoben, und besonders die emotionellen Momente des Vorganges sind gänzlich außer acht gelassen. Es fällt mir nämlich nichts plötzlich ein, ohne von einer vorhergehenden Situation veranlaßt zu sein. Um die wechselnden Bewußtseinszustände zu verstehen, müssen wir also einen Schritt rückwärts gehen.

Als Resultat eines eben angestellten Versuches entsteht der Gedanke, daß ich mich geirrt habe, indem der Versuch die Sache auf die gewünschte und erwartete Weise nicht erläutert. Dieser Bewußtseinszustand hat entschieden den Charakter eines Affektes; ich ärgere mich darüber, daß es mir nicht besser gelungen ist, die beabsichtigte Wirkung zu erzielen. Geht es aber nicht auf die eine, muß

es wohl auf die andere Weise gelingen, und dieser tröstliche Gedanke ruft eine schnelle Übersicht über die möglichen, den Zweck fördernden Mittel hervor. Verschiedene Vorstellungen sind schon entstanden und wieder aufgegeben; dann fällt es mir plötzlich ein, daß dieser bestimmte Stoff, früheren Erfahrungen zufolge, eben das gesuchte Mittel sein wird. Der Ärger weicht sofort einer freudigen Erwartung, und ich gehe, den Stoff zu holen.

Aus dem hier in aller Kürze dargestellten Vorgang ist erstens ersichtlich, daß die wissenschaftliche Forschung keineswegs aller Gemütsbewegungen bar ist, wenngleich diese Zustände selten eine solche Intensität erhalten, daß sie sich durch lebhafte körperliche Äußerungen kundgeben. Zweitens sehen wir, wie eben diese Affekte in Verbindung mit dem zu erreichenden Zweck die Beachtungsmotive sind, die die Aufmerksamkeit bald auf diese, bald auf jene Vorstellung lenken und somit die innere und äußere Tätigkeit verursachen. Und diese Tätigkeit ist eine willkürliche, ist meine Tätigkeit, weil das Ich stets daran beteiligt ist, in der Gemütsbewegung sich bald gehemmt, bald gefördert fühlt und daher als die letzte Ursache des ganzen Vorganges erscheint.

Die Behauptung, daß eine willkürliche Tätigkeit stets die Beteiligung des Ich erfordere, steht anscheinend mit zwei früher erwähnten Tatsachen in Widerstreit. Erstens haben wir gesehen (S. 580), daß ein halbjähriges Kind schon eine einfache Bewegung, wie z. B. ein Stückchen Brot mit der Hand in den Mund zu stecken, willkürlich ausführen kann; da diese Bewegung erst nach vielen vergeblichen Bemühungen mit starker Anspannung der Aufmerksamkeit gelingt, ist sie jedenfalls nicht instinktiv. Andererseits wurde hervorgehoben (S. 662), wie das Kind erst gegen Ende des zweiten Jahres imstande ist, sein materielles Ich von der Umgebung zu unterscheiden. Es erhebt sich dann die Frage, wie das Ich schon im sechsten Monat eine willkürliche Tätigkeit ausüben könne, wenn es zu der Zeit noch gar nicht existiert. Eine solche Fragestellung würde indes ganz falsch sein. Die Anfänge des körperlichen Ich existieren selbstverständlich schon lange vor dem Zeitpunkte, wo das Kind auf dem Wege der Erfahrung die Grenzen desselben kennen gelernt hat oder es sprachlich zu benennen weiß. Das halbjährige, hungrige Kind kann zwar nicht sagen: „Ich bin hungrig“, es hat aber zweifelsohne neben der unangenehmen Hungerempfindung eine äußerst unbestimmte Vorstellung von dem durch den Hunger herabgestimmten körperlichen Ich, und dieser Zustand reicht aus, um Muskelbewegungen auszulösen, wodurch dem Hungergefühl abgeholfen werden kann. Ob es ihm dann auch gelingt, das Brot zu ergreifen und in den Mund zu führen, beruht auf ganz anderen

Umständen, nämlich auf der Festigkeit der motorischen Verknüpfungen, was aber mit der beabsichtigten Bewegung nichts zu tun hat.

Es ist leicht ersichtlich, daß eine eingehende Kenntnis des eigenen Ich unmöglich die Bedingung seiner Tätigkeit sein kann. Trotz der Sokratischen Forderung kennt wohl niemand z. B. sein soziales Ich so genau, daß er im voraus die Grenzen desselben anzugeben vermag. In vielen Fällen wird man erst, indem man sich von irgendeinem Umstand betroffen fühlt, durch nähere Reflexion darüber klar werden, daß dies Verhältnis einen Teil des sozialen Ich bildet. Den gesamten Inhalt der äußerst komplizierten Ichvorstellung kennen wir natürlich ebensowenig wie den Inhalt anderer Vorstellungen, und nichtsdestoweniger können solche Vorstellungen reproduziert werden und den weiteren Vorstellungslauf eben durch die ganz unbekannten Momente beeinflussen. Es ist somit kaum zu bezweifeln, daß willkürliche, gewollte Bewegungen schon von einem recht unbestimmten körperlichen Ich ausgelöst werden können. Es leuchtet aber ebenfalls ein, daß das Ziel der möglichen willkürlichen Handlungen ganz und gar von der Komplikation des Ich abhängig ist. Das kleine Kind kann nur solche Bewegungen ausführen wollen, die seine augenblicklichen körperlichen Bedürfnisse befriedigen; ob es sie auch ausführen kann, beruht, wie gesagt, auf der Festigkeit der erworbenen motorischen Assoziationen. Für die Zukunft kann das Kind nicht sorgen, einfach weil ihm die nötigen Kenntnisse abgehen; es kann aber nicht einmal dafür sorgen wollen, weil sein unentwickeltes Ich die nötigen Motive nicht produzieren kann. Wenn Eigentum, Familie, Beziehungen zu anderen Menschen usw. noch keine integrierenden Teile des Ich geworden sind, fehlen die Motive zur Förderung dieser Momente, und die diesbezüglichen Handlungen können überhaupt nicht beabsichtigt werden. Es geht also hieraus hervor, *daß einerseits zwar die Anfänge eines körperlichen Ich ausreichen, um willkürliche Bewegungen auszulösen, daß andererseits aber das Ziel der willkürlichen Handlungen, die überhaupt beabsichtigt werden können, von der Komplikation des Ich abhängig ist.*

Theorie der Identität des Ich. Das Ich ist, wie wir gesehen haben, unter normalen Verhältnissen teils bleibenden, teils vorübergehenden Veränderungen unterworfen. Die bleibenden Veränderungen sind die von der normalen Entwicklung her-

rührenden: der Körper wächst, die sozialen Beziehungen modifizieren sich, die Erlebnisse und die Erinnerungen werden zahlreicher. Unter den vorübergehenden Störungen des Ich sind wohl die von körperlichen Krankheiten, von Gemütsbewegungen und von kurzdauernden Schwankungen der sozialen Beziehungen verursachten die wesentlichsten. Da jedes Ich trotz aller vorübergehenden Störungen und wechselnden Veränderungen dennoch dasselbe Ich bleibt (von den pathologischen Erscheinungen können wir hier absehen), entsteht die Frage, wie dies möglich sei.

Es wurde schon in der Einleitung hervorgehoben, daß von keiner Identität des Ich im eigentlichen Sinne die Rede sein kann, sondern nur von einer Kontinuität. Es ist dasselbe Ich, wie es trotz aller Veränderungen derselbe Körper ist. Vergleiche ich mein jetziges Ich mit demjenigen vor etwa vierzig Jahren, dessen ich mich recht deutlich in einer Reihe bestimmter Situationen erinnere, so ist der Unterschied in materieller, sozialer und geistiger Beziehung so groß, daß ich es kaum als dasselbe Ich auffassen können würde, wenn ich mir die Hauptzüge der Erlebnisse nicht vergegenwärtigen könnte, die das kindliche Ich zum jetzigen umgemodelt haben. Es ist augenscheinlich die Kette der Erinnerungen, die das Ich der Gegenwart mit demjenigen eines beliebigen früheren Zeitpunktes verbindet. Die Erinnerungen sind aber Vorstellungen, und diese Vorstellungen können ebensogut die Erlebnisse vieler Personen als die einer einzigen sein; außerdem verbürgt nichts, daß eben ich diese eine Person bin. Es leuchtet somit ein, daß die Erinnerungen nur dann meine Erinnerungen, Partialvorstellungen meines Ich werden, wenn sie zu einer Einheit verknüpft werden auf analoge Weise wie die Teilerscheinungen jeder anderen Vorstellung (S. 668). Einerseits können also nur solche Erinnerungen als meine Erlebnisse dastehen, die mit diesem festen Zentrum verbunden sind, und andererseits besteht das Ich nur in der mittels dieses Zentrums zustande gebrachten Verknüpfung der Erinnerungen mit den Organempfindungen und Vorstellungen verschiedener Art, die das materielle und das soziale Ich bilden. Die Verknüpfung aller dieser Erscheinungen wird natürlich nicht im geringsten dadurch beeinflußt, daß sich neue Erfahrungen dem Komplexe nach und nach anschließen, und ebenso wenig wird sie sofort dadurch aufgehoben, daß zeitweilig gewisse Partialerscheinungen sich verändern. Es handelt sich aber hier

nur um quantitative Unterschiede. Sind die Störungen nicht zu stark und dauernd, bleibt es dasselbe Ich, das sich nur mehr oder weniger fremd vorkommt. Die Störungen können aber auch eine Dauer und einen solchen Umfang erhalten, daß entweder die Kontinuität des Ich unterbrochen wird, oder mehrere verknüpfende Zentren sich bilden, wodurch verschiedene, alternierende Iche entstehen. Auf die bekannten pathologischen Veränderungen können wir hier nicht näher eingehen; sie sind aber unschwer verständlich, wenn die „Identität" des Ich nur auf einer den zahlreichen Partialvorstellungen gemeinsamen Neuronengruppe beruht, während sie nicht nur unerklärlich, sondern wohl einfach unmöglich sind, wenn das Ich als eine transzendente Einheit aufgefaßt wird.

IV. Die Affekte.

Zweiundachtzigstes Kapitel.

Verschiedene Arten der Gemütsbewegungen.

Die Klassifikation der zusammengesetzten Gefühlszustände nach einem gemeinsamen Ordnungsprinzip ist wohl kaum möglich. Da jede Vorstellungsgruppe unter bestimmten Umständen gefühlsbetont auftreten kann und somit ein besonderes Gefühl bildet, so sind die Gefühle im weitesten Sinne jedenfalls ebenso zahlreich wie die Wahrnehmungen und Vorstellungen. Eine Ordnung der letzteren nach den verschiedenen möglichen Beziehungen des Ich zur Außenwelt wird immer recht willkürlich und mangelhaft sein[1], so daß man sich ebensogut darauf beschränken kann, die komplizierteren Gefühlszustände nach gewissen charakteristischen Merkmalen zusammenzustellen. Wenn wir aber auf eine rationelle Ordnung verzichten, kann es auch mitunter zweifelhaft werden, wo die einzelnen Erscheinungen unterzubringen sind.

Wir sahen oben, wie eine Gemütsbewegung dadurch entsteht, daß irgendeine Wahrnehmung oder Vorstellung eine merkliche Veränderung, Förderung oder Hemmung des Ich zustande bringt (S. 674). Und je nachdem die Störung den zentralen Teil oder immer mehr periphere Teile des Ich betrifft, gehen die autopathischen Gemütsbewegungen allmählich durch

---

[1]) Vgl. die in meinem „Hauptgesetze des menschlichen Gefühlslebens", S. 342 u. f., versuchte Ordnung.

die sympathischen in die ästhetischen Gefühle über. Die drei Namen bezeichnen also nicht drei Gruppen verschiedener Zustände, sondern nur die Hauptformen, die jedenfalls die meisten komplizierteren Gefühle auf die angeführte Weise annehmen können, wodurch der Gefühlszustand im wachsenden Grade den Charakter der Gemütsbewegung verliert. Hieraus folgt dann ferner, daß mit einer erschöpfenden Darstellung der autopathischen Affekte auch die sympathischen und jedenfalls ein wesentlicher Teil der ästhetischen behandelt sind. Zu den letzteren sind indes zugleich viele der ohne eine merkliche Störung des Ich einhergehenden Gefühle zu rechnen, wodurch diese Gruppe umfassenderer als die beiden andern wird. In betreff der sympathischen Gefühle haben wir im folgenden nur eine wesentliche Frage zu beantworten, nämlich das oben (S. 663) dahingestellte Problem: wie eine solche Erweiterung des Ich zustande komme, daß sympathische Gefühle überhaupt möglich werden.

Da beim erwachsenen Menschen neben dem materiellen sowohl ein soziales als ein geistiges Ich vorkommen, so teilen sich *die autopathischen Affekte* in drei Gruppen je nach dem Ich, dessen Veränderungen den betreffenden Gemütsbewegungen zugrunde liegen. Es zeigt sich übrigens, daß Gemütsbewegungen, die anfangs, beim Kinde, nur das materielle Ich betreffen, später, bei wachsender Entwicklung, sich ebenfalls auf die beiden andern Iche beziehen können. Der Zorn z. B., der beim kleinen Kinde wohl nur dadurch erregt wird, daß man (seiner Meinung nach) unbefugt ihm seine Bewegungsfreiheit oder sein Spielzeug beraubt, wird beim Erwachsenen ebenso leicht durch eine ungerechte Beurteilung seiner Fähigkeiten, seiner Handlungen usw. entfacht. Es gibt aber auch Gemütsbewegungen, wie z. B. die durch Hebung oder Herabsetzung des Selbstgefühls entstehenden, die erst mit der Entwicklung eines sozialen Ich möglich werden. Eine Einteilung der Gemütsbewegungen nach dem betreffenden Ich hat also nur die praktische Bedeutung, anzugeben, wo die Anfänge der verschiedenen Affekte zu finden sind.

Unter den Gemütsbewegungen, die sich auf das materielle Ich beziehen, sind die einfachsten und bedeutungsvollsten wohl die *Instinktaffekte*, d. h. diejenigen Affekte, die sich aus den Instinkten entwickeln (vgl. S. 484). Neben diesen kommen indes zwei andere Gruppen vor. Die eine Gruppe umfaßt die Affekte, die außschließlich durch die Intensitäts- und Zeit-

verhältnisse des Reizes bestimmt, dagegen unabhängig vom Inhalt desselben sind; sie werden daher gewöhnich als *die formellen* bezeichnet. Die andere Gruppe bilden die Affekte, die erst bei einer gewissen Entwicklung des Bewußtseins möglich sind, indem sie nur von komplizierteren Vorstellungen erregt werden, durch deren Beziehungen zum Ich ihr Charakter bestimmt ist. Sie sind von keinen speziellen motorischen Reaktionen begleitet, und es gehen ihnen mithin die instinktiven Äußerungen der Instinktaffekte völlig ab. Im Gegensatz zu den letzteren können wir sie als *Vorstellungsaffekte* bezeichnen.

Zu den erwähnten drei kommen noch zwei andere Gruppen autopathischer Gefühle, nämlich die *Selbstgefühle*, die sich auf das soziale, und die *intellektuellen Gefühle*, die sich auf das geistige Ich beziehen. Als eine sechste Gruppe können wir schließlich die binären und tertiären Kombinationen der einfacheren Zustände aufstellen.

Innerhalb jeder der angegebenen Gruppen kommt eine große Anzahl verschiedener Formen vor. Die Instinktaffekte sind unter anderem durch die begleitenden Tendenzen zu bestimmten instinktiven Bewegungen charakterisiert; da aber solche motorischen Tendenzen bei den übrigen Affekten nicht konstant vorkommen, müssen ihre Unterschiede anderswo gesucht werden. Veränderungen der vegetativen Vorgänge begleiten, wie wir wissen, jede Gemütsbewegung; es ist aber äußerst zweifelhaft, ob diese Erscheinungen in jedem einzelnen Falle so verschieden sind, daß eine Einteilung der Affekte sich darauf bauen läßt. Lange hat zwar den Versuch gemacht[1]; erstens beschränkt er sich aber auf sieben Affekte, und zweitens ist seine Angabe der wesentlichen Äußerungen nicht unbeanstandet geblieben[2]. Ferner haben die zahlreichen experimentellen Untersuchungen auf diesem Gebiete nichts zutage gefördert, was darauf deutet, daß die charakteristischen Unterschiede der einzelnen Affekte eben die Veränderungen der vegetativen Vorgänge sind. Jedenfalls sind wir vorläufig völlig außerstande, die große Mannigfaltigkeit der Affekte auf diesem Wege zu kennzeichnen. Schließlich ist eine Gemütsbewegung ein psychischer Zustand, und ihre wesentlichsten Merkmale müssen sich durch die Selbstbeobachtung nachweisen lassen können. Die psychologische

---

[1] Lange: Über Gemütsbewegungen. Leipzig 1887.
[2] vgl. Lehmann: Hauptgesetze des Gefühlslebens. S. 108.

Analyse der Gemütsbewegungen findet aber außer Lust und Unlust nur Vorstellungen und Organempfindungen, und jede nähere Einteilung muß also auf diesen intellektuellen Inhalt gebaut werden.

Der wohl erst von Marshall geführte Nachweis, daß gewisse Affekte sich aus Instinkten entwickelt haben [1]), hat andere Forscher zu einer völligen Vernachlässigung der Vorstellungsmomente der Affekte veranlaßt. Besonders Ribot hat dem „Intellektualismus" förmlich den Krieg erklärt und will sämtliche Affekte von ganz wenigen Instinkten und primitiven Tendenzen ableiten [2]). Wenn dies ihm dem Anschein nach gelingt, beruht es ausschließlich darauf, daß er überhaupt nicht auf die verschiedenen Zustände eingeht, sondern die großen Hauptgruppen als Einzelerscheinungen betrachtet; er kennt die Affekte nur in der Einzahl: le sentiment moral, religieux, esthétique, intellectuel etc. Selbstverständlich werden zahlreiche Namen spezieller Gefühle erwähnt; wie diese Gebilde sich aber unterscheiden, wird es dem Leser überlassen, zu erraten. Konsequent läßt sich dieser Standpunkt natürlich nicht behaupten. So wird z. B. als sehr wichtig für die Bildung komplizierterer Gefühlszustände aus den einfacheren das „Gesetz der Transfert" angegeben, das von der Verschiebung eines Gefühlstons von einer Vorstellung (état intellectuel) zu einer anderen handelt [3]). Es bilden sich ebenfalls kompliziertere Gefühle dadurch, daß zwei oder mehrere gefühlsbetonte Vorstellungen gleichzeitig im Bewußtsein gegenwärtig sind; die Verbindung der Vorstellungen führt dann die Verbindung der Gefühle herbei [4]). Ohne „Intellektualismus" kann Ribot also auch nicht durchkommen: nur gibt er es nicht zu.

Bedeutungsvoller als diese recht oberflächliche Behandlung der Frage ist die Darstellung Mc Dougalls [5]). Er will ebenfalls sämtliche Affekte aus Instinkten ableiten und muß, um dies durchzuführen, an verschiedenen Punkten den Tatsachen Gewalt antun. Einerseits stellt er eine ganze Reihe Instinkte auf, von denen einige jedenfalls recht zweifelhaft sind (vgl. S. 686), und andererseits leugnet er einfach, daß z. B. Freude, Kummer und Überraschung Gemütsbewegungen sind [6]), da sich durchaus keine Instinkte aufstellen lassen, von denen sie abgeleitet werden können. Außer den erwähnten gibt es übrigens noch zahlreiche andere, die Mc Dougall gar nicht behandelt, wie z. B Wehmut, Sehnsucht, Hoffnung, Ungeduld usw., als deren Grundlage sich auch keine Instinkte ersinnen lassen. Mc Dougall kann, von seiner willkürlichen Definition befangen, augenscheinlich den einfachen Sachverhalt nicht sehen, daß es neben den aus Instinkten entwickelten Affekten deren andere gibt, die keine solche Grundlage haben. Und

[1]) Pain, Pleasure and Aesthetics. London 1894, S. 63 u. f.
[2]) La psychologie des sentiments. Paris 1896.
[3]) A. a. O. S. 176.
[4]) A. a. O. S. 263.
[5]) Introduction to social psychology. London 1908.
[6]) Mc Dougall, a. a. O. S. 149 u. f.

der Unterschied dieser beiden Gruppen ist keineswegs sehr groß, weil auch die Instinktaffekte sich hauptsächlich durch ihren Vorstellungsinhalt unterscheiden; der Instinkt geht nämlich, wie wir sofort sehen werden, nur durch die assoziierten Vorstellungen in Affekt über.

Um eine einigermaßen übersichtliche Darstellung der Gemütsbewegungen geben zu können, teilen wir die Zustände in vier Hauptgruppen. Die autopathischen Affekte umfassen zwei dieser Gruppen: 1. die Affekte des primitiven Bewußtseins, die sich wenigstens anfangs nur auf das körperliche Ich beziehen, nämlich die Instinktaffekte, die formellen und die Vorstellungsaffekte, 2. die Affekte des entwickelteren Bewußtseins: die Selbstgefühle, die intellektuellen Gefühle sowie Kombinationen der Affekte aller erwähnten Gruppen. Hieran schließen sich dann: 3. die sympathischen und ästhetischen Gefühle, und 4. die Kombinationen sämtlicher vorhergehender Zustände: die sozialen, ethischen und religiösen Gefühle. In einem besonderen Kapitel behandeln wir schließlich die körperlichen Begleiterscheinungen der Gemütsbewegungen.

Entstehung der Affektkombinationen. Neben den einfachen Affekten kommen, wie gesagt, auch zahlreiche Affektkombinationen vor, die eigentlich nicht zu klassifizieren sind. Dagegen lassen sich unschwer die allgemeinen Gesetze ihrer Bildung angeben. Wir sahen schon früher (S. 394), wie sehr oft mehrere betonte Empfindungen gleichzeitig gegeben sein können, und wie in solchem Falle der resultierende Gefühlszustand von der gegenseitigen Beziehung der Empfindungen abhängig wird. Je enger die Empfindungen miteinander verbunden sind, um so inniger verschmelzen die Gefühlstöne, so daß nur ein einziges Gefühl, ein Totalgefühl, resultiert. Etwas Analoges findet statt, wenn keine Empfindungen, sondern kompliziertere betonte Vorstellungen, verschiedene Gemütsbewegungen, zusammenwirken; es beruht hauptsächlich auf der Verbindung der Vorstellungen, wie sich der resultierende Zustand gestaltet. Durch einige Beispiele können wir verschiedene Stufen von immer festeren Verbindungen erläutern; in der Tat kommen natürlicherweise alle möglichen Übergänge vor.

Die loseste Verbindung finden wir, wenn verschiedene Affektursachen, die nichts miteinander zu tun haben, gleichzeitig einwirken. Ein solcher Fall liegt im täglichen Leben recht häufig vor; da es gewöhnlich weder an traurigen noch an freudigen Erlebnissen fehlt, wird der augenblickliche Ge-

mützustand ein durch die zusammenwirkenden Momente bestimmtes Totalgefühl. Da die verschiedenen Affektursachen aber voneinander völlig unabhängig sind oder sein können, kann man durch Lenkung der Aufmerksamkeit auf die einzelnen Ereignisse unschwer jedes Partialgefühl isoliert hervorheben. In diesem Falle wird das Totalgefühl daher meist so schwankenden Charakters sein, daß wir kaum besondere Namen für die Affektkombinationen haben, die aus ganz unabhängigen Affektursachen resultieren.

Fester wird schon die Verbindung, wenn dasselbe Objekt oder Ereignis gleichzeitig mehrere Affekte hervorruft. Fälle dieser Art sind außerordentlich häufig, und im folgenden soll eine große Anzahl derartiger Affektkombinationen angeführt werden. Als Beispiel sei hier nur der relativ einfache Fall erwähnt, daß wir uns über die Leistungen eines Menschen wundern und gleichzeitig eine Herabsetzung des Selbstgefühls spüren, weil die Leistung unsere eigenen Fähigkeiten weit übersteigt. Die Analyse solcher Kombinationen ist nicht ganz leicht, weil die Partialgefühle von derselben Wahrnehmung hervorgerufen werden und sich also dadurch nicht isolieren lassen, daß die Aufmerksamkeit auf verschiedene Objekte gelenkt wird. Wenn man eine Analyse durchführen will, müssen die verschiedenen sich daran beteiligenden Vorstellungen (die Größe der Leistung, meine persönliche Fähigkeit in derselben Richtung usw.) besonders beachtet werden. Findet keine Analyse statt, resultiert einfach ein Totalgefühl, das einen ganz eigentümlichen Charakter hat und daher fast immer einen eigenen Namen trägt.

Die festeste Verbindung finden wir in den Fällen, wo der eine der hervorgerufenen Affekte eine fortwährende Bedingung für die Existenz des anderen ist. Beispielsweise betrachten wir die Wehmut, die wir fühlen, wenn die Erinnerung an einen angenehmen Zustand Trauer über das Aufhören desselben herbeiführt. Die Lust, die die Erinnerung an die verflossenen frohen Tage erregt, ist hier die notwendige Bedingung für das Entstehen der Unlust bei der Vorstellung, daß sie jetzt vorbei sind; könnten wir nämlich nicht auf etwas Erfreuliches zurückblicken, würden wir auch nicht das Aufhören des Zustandes bedauern. Die Verschmelzung der entgegengesetzten Gefühlstöne ist hier eine so vollständige, daß es wohl unmöglich ist, die gegenseitige Beziehung der Gefühlstöne zu beobachten. Man kann natürlich den Zustand analy-

sieren, indem man die Aufmerksamkeit bald auf die erfreulichen Erinnerungen, bald auf den traurigen Gedanken des Aufhörens richtet; wenn man sich aber einfach dem Zustande hingibt, läßt es sich nicht entscheiden, ob Lust oder Unlust gleichzeitig gegenwärtig sind oder nur schnell miteinander wechseln. Man hat wohl behauptet, daß das erstere schlechterdings unmöglich sei: mir scheint das letztere aber noch unmöglicher. Eine komplizierte Gemütsbewegung klingt nicht so schnell ab, daß sie fast augenblicklich einer anderen weichen kann; es bleibt immer eine Stimmung. Auf dieser Grundlage erhebt sich dann wahrscheinlich der andere Affekt, so daß dennoch auf eigentümliche Weise Lust und Unlust gleichzeitig sind.

Dreiundachtzigstes Kapitel.

Autopathische Affekte des primitiven Bewusstseins.

Die Instinktaffekte. Wie viele und welche Instinkte sich im Menschen finden, läßt sich wohl kaum mit Sicherheit entscheiden. Ist es schon bei den höheren Tieren schwierig, ausfindig zu machen, welche Reaktionen auf angeborenen Instinkten beruhen, und welche von motorischen Suggestionen, unwillkührlicher Nachahmung, herühren, dann wird die Sache beim Menschen noch schwieriger. Fast alle Forscher sind daher der Frage über die einzelnen Instinkte des Menschen aus dem Wege gegangen; nur Mc Dougall hat sich eingehend damit beschäftigt. Er meint zwei Kriterien aufstellen zu können. Erstens sind aller Wahrscheinlichkeit nach die Instinkte des Menschen mit denjenigen der höheren Tiere übereinstimmend, und zweitens ist anzunehmen, daß jeder Instinkt in einer Geisteskrankheit sich mit besonderer Stärke äußern wird [1]. Das Vorhandensein der beiden Merkmale gibt wohl eine gewisse Wahrscheinlichkeit, aber jedenfalls keine Garantie dafür, daß ein Instinkt vorliege, und die Möglichkeit ist noch weniger auszuschließen, daß es menschliche Instinkte geben können, die weder bei den Tieren vorkommen, noch krankhaft gesteigert werden können. Ich bezweifle überhaupt, daß die Instinkte nach bestimmten Prinzipien aufzusuchen sind. Ein Instinkt liegt vor, wenn eine konstante Reaktion von be-

[1] A. a. O. S. 49.

stimmten Wahrnehmungen ausgelöst wird unter solchen Umständen, daß sie weder als Reflex noch als willkührliche Bewegung anzusehen ist, und dies läßt sich nur durch sorgfältige Beobachtungen feststellen. Die wesentlichsten der auf diese Weise einigermaßen sicher nachgewiesenen Instinkte sind: der Nahrungs- und der Geschlechtsinstinkt, der Flucht- und der Kampfinstinkt, die Neugier und der Abstoßungsinstinkt, der Schutz- und der Scharinstinkt.

Von diesen Instinkten erwähnt Mc Dougall gar nicht den Nahrungsinstinkt, wahrscheinlich weil sich daraus keine Gemütsbewegung entwickelt; nichtsdestoweniger ist dieser Instinkt wohl von allen der unstreitigste. Außer den oben erwähnten hat Mc Dougall dagegen zwei fernere Instinkte, nämlich das „Sich-zur-Schau-stellen“ und den Unterwerfungsinstinkt [1]), die aufgestellt werden, um die in-instinktive Grundlage von zwei charakteristischen Erscheinungen des entwickelten menschlichen Bewußtseins zu bilden. Die Beobachtungen, die die Existenz dieser Instinkte beweisen sollen, sind aber nichts weniger als überzeugend. Die Tiere stellen sich fast ausschließlich nur während der Paarungszeit zur Schau, und zumal sind es nur die Männchen, die es tun; die ganze Erscheinung ist also wahrscheinlich eine Äußerung des Geschlechtsinstinktes, die in der Paarungszeit dazu dient, den Blick der Weibchen auf die Männchen zu ziehen. Bei kleinen Kindern kommt das Sich-zur-Schau-stellen wohl nur dann vor, wenn das Kind daran gewöhnt wird, daß man seine Leistungen bewundert. Ohne eine solche künstliche Ausbrütung des sozialen Ich wird es wohl nie einem Kinde einfallen, sich vor einem Publikum zu produzieren, und instinktiv ist diese Tendenz daher sicher nicht.

Ebensowenig kann die Unterwerfung ein Instinkt genannt werden. Daß ein Hund, der etwas Unrichtiges getan hat, sich mit allen Zeichen des Schames und der Unterwerfung seinem Herrn nähern kann, ist unzweifelhaft, und das eine ähnliche Gemütsbewegung auch größeren Hunden gegenüber sich gelegentlich äußern kann, wie Mc Dougall bemerkt [2]), ist nicht unwahrscheinlich. Dagegen wird man gewiß vergebens solche Affektäußerungen bei anderen Tieren als eben beim Hunde (und vielleicht beim Elefanten und Affen) suchen, und beim Hunde kommen sie auch nur bei den intelligenten und wohlerzogenen Tieren vor, die gelernt haben, daß sie gewissen Neigungen nicht nachgeben dürfen. Wenn die Natur dann gelegentlich über die Erziehung geht, so zeigen sie Unterwerfung, Scham. Es handelt sich ja aber hierbei durchaus nicht um allgemeine Instinktäußerungen, sondern um Kunstprodukte, die überhaupt nur im Verkehr mit dem Menschen entwickelt werden können. Der Hund, der wirklich weiß, daß er etwas Unrichtiges getan hat, und sich der unvermeidlichen Strafe erinnert, hat augenscheinlich, wie das kleine

---

[1]) A. a. O. S. 62 u. f.

[2]) A. a. O. S. 65.

Kind, die Anfänge eines sozialen Ich; es regt sich eine wirkliche Gemütsbewegung, die sich durch die Zeichen der Unterwerfung äußert. Wir sind hier so weit vom Instinkt entfernt, wie wir es überhaupt bei den Tieren kommen können.

Der Übergang der verschiedenen Instinkte zu den Affekten ist eine einfache Folge der wachsenden Erfahrung. Das Kind lernt z. B. schnell, daß scharfe Zähne höchst unangenehm beißen können, es hat Hunde gesehen, die ihr Futter verzehrten, und vielleicht auch von den üblen Folgen eines Hundebisses gehört. Wird es nun gelegentlich von einem großen Hunde angebellt, werden die unlustbetonten Vorstellungen von dem Unheil, das ihm der Hund antun kann, erweckt: es fürchtet sich vor dem Hunde. Gleichzeitig treten die instinktiven Fluchtbewegungen ein: das Kind läuft schreiend davon. Wie in diesem Falle geht es in allen anderen; im allgemeinen kann man sagen, die Gemütsbewegung *Furcht* ist die von instinktiven Fluchttendenzen begleiteten, unlustbetonten Vorstellungen von einem Übel, das einzutreten droht. Mit wachsender Erfahrung von den üblen Folgen irgendeines Erlebnisses werden sowohl die Gemütsbewegung als die instinktive Reaktion gewiß immer stärker. Ist der kleine Knabe von einem größeren Straßenjungen einigemal mißhandelt worden, wird er oft besinnungslos die Flucht ergreifen, wenn er nur einen seinem Feinde ähnlichen Knaben in der Ferne sieht. Beim Erwachsenen können umfassendere Erfahrungen zwar häufig zur willkürlichen Hemmung der instinktiven Bewegungen führen; daß aber dadurch die Gemütsbewegung gewöhnlich nur noch stärker wird, ist schon früher (S. 485) auseinandergesetzt worden.

Auf analoge Weise, mit wachsender Erfahrung, gehen die übrigen Instinkte in je einen bestimmten Affekt über. Der Kampfinstinkt wird zum Affekte *Zorn,* wenn das Ich sich bewußt wird, durch die willkürliche Tätigkeit anderer Menschen herabgesetzt zu werden; wird die Hoffnungslosigkeit einer Verteidigung gleichzeitig eingesehen, so daß die Reaktion am liebsten gehemmt werden muß, steigt der Affekt leicht zur *ohnmächtigen Wut.* Der Abstoßungsinstinkt wird zum *Abscheu,* wenn sich mit der Wahrnehmung gewisser Objekte die Vorstellungen von den üblen Wirkungen derselben verbinden. Die instinktive Neugier geht in die *Verwunderung* über, wenn das Kind sich der Neuheit, der Ungewöhnlichkeit einer Wahrnehmung bewußt wird. Der Schutzinstinkt, auch der Eltern-

instinkt genannt, weil er eben bei den Eltern, ihren hilflosen Kindern gegenüber, am stärksten hervortritt, führt zur *Zärtlichkeit*, wenn die Vorstellung von der Schutzbedürftigkeit irgendeines Wesens und den Folgen des fehlenden Schutzes bei der Wahrnehmung entsteht. Aus dem Scharinstinkt resultiert das *Sicherheitsgefühl*, wenn man sich der Vorteile bewußt wird, die dadurch entstehen können, daß man sich zu anderen gesellt. Der Geschlechtsinstinkt schließlich geht ins *Sexualgefühl* über, wenn die Wahrnehmung einer anderen Person gewisse lustbetonte Vorstellungen und Organempfindungen hervorruft.

Von allen Instinktaffekten gilt, was schon von der Furcht nachgewiesen wurde, daß sie mit wachsender Komplikation des Vorstellungsinhaltes stärker werden, wodurch zugleich die instinktive Reaktion leichter zustande kommt und schwieriger zu hemmen ist. Dies schließt natürlich nicht aus, daß andere Erfahrungen gleichzeitig stärkere Motive zur willkürlichen Hemmung der Instinktbewegungen herbeiführen können. Ferner finden wir, daß alle Instinktaffekte sich zwar anfangs, beim Kinde, nur auf das materielle Ich beziehen, daß die meisten aber, bei wachsender Entwicklung des Individuums, auch durch Förderungen und Herabsetzungen des sozialen und des geistigen Ich erregt werden können. Furcht, Zorn, Abscheu, Zärtlichkeit und Sicherheitsgefühl entstehen sowohl durch Veränderungen des sozialen Ich, als wenn es sich um rein körperliche Verhältnisse handelt. Man kann Furcht hegen nicht nur vor körperlichen Verletzungen, sondern auch vor Angriffen auf seine soziale Stellung, seine Ehre usw. Das Sicherheitsgefühl z. B. stellt sich ein, nicht nur wenn man in einen verrufenen Stadtteil von zuverlässigen Leuten körperlich begleitet wird, sondern auch wenn namhafte Freunde den guten Ruf gegen unberechtigte Angriffe verteidigen usw. Die Verwunderung geht, wie wir im folgenden (S. 693) sehen werden, mit der Entwicklung des geistigen Ich allmählich in die intellektuellen Gefühle über. Das Sexualgefühl kann allerdings der körperlichen Empfindungen und instinktiven Tendenzen nie verlustig werden, ohne seinen wesentlichen Charakter einzubüßen; bei der geschlechtlichen Liebe des Kulturmenschen spielen aber Modifikationen des Selbstgefühls nebst zahlreichen sympathischen und ästhetischen Gefühlen eine so wesentliche Rolle, daß die Organempfindungen sich nur in bestimmten Momenten stärker geltend machen. Diese Beispiele genügen, um die Ver-

änderungen anzudeuten, denen die Instinktaffekte bei wachsender Entwicklung des Individuums unterliegen können.

Es ist ferner leicht verständlich, warum im allgemeinen sich keine Gemütsbewegung aus dem Nahrungsinstinkte entwickelt. Dieser Instinkt wird nur tätig, wenn man hungrig ist, und der einzige seelische Erfolg ist die Empfindung der Sättigung. Der Anblick des Essens wird mithin unter gewöhnlichen Umständen nur diese Vorstellung hervorrufen können, was wahrscheinlich unmöglich ist, solange die Empfindung des Hungers besteht. Da der Reiz somit keinen komplizierten Gefühlszustand erregen kann, ist eine Gemütsbewegung in diesem Falle ausgeschlossen. Nur der Feinschmecker, der zahlreiche Geschmacksempfindungen zu reproduzieren vermag, kann beim Anblick eines reichbesetzten Tisches oder schon beim Lesen eines Menus sich so weiden, daß man dem Zustand kaum den Namen eines Affektes verweigern kann.

Die Vorstellungsaffekte unterscheiden sich von den Instinktaffekten dadurch, daß sie von keinen instinktiven Bewegungen konstant begleitet sind. Triebäußerungen, motorische Tendenzen kommen bei diesen wie bei allen anderen Affekten vor; sie haben aber nicht den allgemeinen und konstanten Charakter der Instinktbewegungen, sondern sind mehr von dem augenblicklichen Inhalt des Gemütszustandes abhängig. Solche Ausdrucksbewegungen können daher auch nicht so leicht wie die instinktiven Bewegungen Gemütsbewegungen vortäuschen, zu denen das Kind noch nicht reif ist. Das Greifen z. B. ist durchaus nicht instinktiv, da es mühsam erlernt werden muß, und wenn der viermonatliche Säugling beim Anblick seiner Flasche lächelnd nach derselben greift, kann es nicht zweifelhaft sein, daß er sich freut, daß die Wahrnehmung eine lustbetonte Erinnerung hervorgerufen hat. Im allgemeinen bezeichnen wir als *Freude* die mehr oder weniger komplizierten, lustbetonten Vorstellungen, womit eine merkliche Förderung des Ich einhergeht. Als Gegensatz hierzu steht der *Kummer*, die unlustbetonte Vorstellung von einem Verlust, einer Herabsetzung des Ich. Sind die freudigen oder traurigen Ereignisse noch nicht eingetroffen, sondern nur zu erwarten, entstehen je nach dem Sicherheitsgrade des Erwartens verschiedene Gemütsbewegungen.

Die *Erwartung* an und für sich ist keine Gemütsbewegung, sondern nur die auf ein künftiges Ereignis gelenkte Aufmerk-

samkeit. Der emotionelle Charakter des Zustandes wird daher im allgemeinen durch die Gefühlsbetonung des Erwarteten bestimmt. Die sichere Erwartung einer künftigen Freude wird als *freudige Erwartung* bezeichnet: ist die Erwartung nicht ganz sicher, heißt der Zustand *Hoffnung*. Der mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit erwartete Kummer ist der als *Beängstigung* bezeichnete Zustand, der mit wachsender Gewißheit in *Furcht* übergeht. Die letztere ist zwar in ihrer primitiven Form ein Instinktaffekt, wenn es sich aber um kompliziertere Verhältnisse handelt, vor denen sich nicht einfach flüchten läßt, fällt die Fluchttendenz meistens weg, und der Zustand erhält eher den Charakter der Vorstellungsaffekte. Die Erwartung kann übrigens selbst Affekt werden, wenn nur ganz unbestimmte Mutmaßungen von dem zu Erwartenden im voraus vorkommen können und das tatsächlich Eintreffende jedenfalls stark lust- oder unlustbetont sein wird. Dieser Zustand ist die *Spannung*, die *gespannte Erwartung*, die sich bei schwierigen Bergbesteigungen und gefährlichen Jagden, beim Hazardspiele usw. regt. In emotioneller Beziehung schwankt der Affekt zwischen Lust und Unlust je nach dem Gange der Ereignisse, den vorkommenden Schwierigkeiten und ihrer Überwindung.

Von Freude und Kummer, Hoffnung und Furcht gibt es zahlreiche Kombinationen. Die *Wehmut*, der Kummer über das Aufhören des Erfreulichen, wurde schon oben eingehend behandelt (S. 684); als Gegensatz zu diesem Affekt steht die *Lust an überstandenen Beschwerden*. Wenn das Gehoffte an dem erwarteten Zeitpunkte nicht eintrifft, entsteht die *Enttäuschung*, die leicht in *Ungeduld* übergeht, wenn die Hoffnung wiederholentlich enttäuscht wird. Ist keine Hoffnung mehr auf das Erwartete, woran einem viel gelegen war, tritt die *Verzweiflung* ein.

Die formellen Affekte sind vom Inhalt der Empfindungen und Vorstellungen unabhängig und nur durch ihre Stärke und Zeitverhältnisse bestimmt. Jede starke plötzliche Reizung führt reflektorisch zahlreiche organische Veränderungen herbei: eine momentane Kontraktion der willkürlichen Muskeln, der eine Schwächung der willkürlichen Innervation nachfolgt, und Kontraktion sowohl der gefäßverengenden als der meisten anderen organischen Muskeln. *Das Erschrecken* als Gemütsbewegung ist zweifellos nur die Empfindung dieser körperlichen Veränderungen; im Bewußtsein findet man nur die vom Zittern des Körpers, von der Schwere der Glieder, von der

Kälte der Haut usw. herrührenden Empfindungen. Besonders das plötzliche Zusammenzucken und das Pochen des Herzens wird oft vor dem äußeren Reize empfunden, der den ganzen Zustand verursacht. Wird die Natur der oft recht winzigen Ursache nicht bald entdeckt, geht das Erschrecken leicht in den *Schrecken*, die Furcht vor dem gänzlich Unbekannten, über. Schreck und Furcht werden daher gewöhnlich als derselbe Zustand angesehen, was sie gewiß nicht sind, da der Schreck stets mit dem Erschrecken anfängt und sein wesentliches Gepräge dadurch erhält, daß die willkürlichen Bewegungen gelähmt sind. Die Furcht dagegen ist durch die instinktiven Fluchtbewegungen charakterisiert.

Die *Überraschung* ist ein geringer Grad des Erschreckens. Jede plötzliche, komplizierte Wahrnehmung, die man nicht sofort erfaßt, weil man nicht darauf vorbereitet ist, wird den Zustand hervorbringen können. Sehr viele Gemütsbewegungen können mit einem Stadium der Überraschung anfangen, die erst, wenn die Bedeutung der Affektursache völlig verstanden ist, in die spezielle Gemütsbewegung übergeht.

Im Gegensatz zum Erschrecken steht die *Langeweile*, die beim Fehlen jeglicher Veränderung entsteht. Das ausgeruhte Nerven- und Muskelsystem hat eine Tendenz, spontan tätig zu werden, der man sich als Tätigkeitsdrang bewußt wird. Gehen nun dem Individuum die Mittel zur körperlichen oder seelischen Beschäftigung ab, und kann man sich mit seinen eigenen Gedanken nicht unterhalten, was den meisten Menschen nur eine kurze Zeit möglich ist, so wird diese gezwungene Untätigkeit stark unlustbetont: man hat Langeweile.

Vierundachtzigstes Kapitel.

Autopathische Affekte des entwickelten Bewußtseins.

Die Selbstgefühle. Es wurde schon oben auseinandergesetzt, wie das Selbstgefühl bei der Entwicklung des sozialen Ich entsteht, indem sich eine vage, gewöhnlich schwach betonte Vorstellung von der allgemeinen Bedeutung des Ich in seiner Beziehung zu anderen Menschen bildet. Das Gefühl kann aber durch äußere und innere Umstände mannigfach modifiziert werden, wodurch eine ganze Reihe besonderer Affekte entstehen, die treffend als die Selbstgefühle bezeichnet werden

können, weil die Vorstellung des Individuums von seiner eigenen Bedeutung in irgendeiner Beziehung stets den Inhalt bildet.

Das Selbstgefühl wird ausgesprochen lustbetont, *gehoben*, wenn die Leistung des Individuums bei einer bestimmten Gelegenheit die Anerkennung seiner Genossen erfährt. Umgekehrt wird das Gefühl *herabgestimmt*, unlustbetont, wenn die Leistung getadelt wird. Diese beiden Formen des Gefühls werden auch als positives und negatives Selbstgefühl bezeichnet. Wer dauernd Gegenstand der Anerkennung, der Bewunderung ist, fühlt leicht *Stolz*, ein chronisch gewordenes, gehobenes Selbstgefühl, das sich unvermeidlich durch die Haltung und das Benehmen des Individuums an den Tag legt. Das *Selbstvertrauen* ist zwar auch gehobenes Selbstgefühl, aber unabhängig von der Anerkennung der Mitmenschen und nur durch den direkten Erfolg der Leistungen bestimmt. Der Verbrecher z. B., der sehr wohl weiß, daß er auf die Anerkennung der Gesellschaft nicht rechnen kann, wird zweifellos Selbstvertrauen hegen, wenn seine Taten lange nicht entdeckt werden. Das Selbstvertrauen kann sich zum *Übermut* steigern, der durch Fahrlässigkeit gekennzeichnet ist. Wenn sich mit dem positiven Selbstgefühl das Streben verbindet, noch mehr Anerkennenswertes zu leisten, liegt *Ehrgeiz* vor; die *Eitelkeit* dagegen sucht stets Anerkennung, ohne etwas zu leisten.

Unabhängig von der Anerkennung seitens der Mitmenschen kann das Selbstgefühl übrigens auch gehoben oder herabgesetzt werden, indem das Individuum seine Leistung bei einer bestimmten Gelegenheit selbst beurteilt. Das hieraus resultierende positive Selbstgefühl ist die *Selbstzufriedenheit.* Das negative Selbstgefühl kann verschiedene Formen annehmen: *Scham* ist die Herabstimmung des Selbstgefühls bei der Vorstellung, daß ich etwas geleistet habe, was ich hätte besser machen können; *Ärger* dagegen ist die Vorstellung, daß meine Fähigkeiten nicht ausreichen, um etwas Besseres zu leisten.

Die *Schüchternheit* ist eine eigentümliche Kombination des positiven und negativen Selbstgefühls, ein Schwanken zwischen den beiden Zuständen. Der Affekt äußert sich besonders deutlich, wenn man z. B. vor eine Versammlung treten soll. Das Selbstgefühl ist dann einerseits gehoben durch die Vorstellung von der zu spielenden Rolle, andererseits aber herabgestimmt durch die Vorstellung von der Größe der Versammlung, von der Überlegenheit einiger der Anwesenden usw. Dies Schwanken

zwischen positivem und negativem Selbstgefühl kennzeichnet eben den Affekt[1]).

Die intellektuellen Gefühle treten in ihrer einfachsten Form als die instinktive Neugier hervor, die bei den höheren Tieren sowohl als bei den Menschen leicht zu beobachten ist. Anfangs ist der Instinkt sehr eng mit dem Nahrungsinstinkte verbunden. Das einige Tage alte Kalb, das frei herumläuft, riecht an alles und kostet alles, und der Säugling steckt ebenfalls, wie wir wissen, alles überhaupt Greifbare in den Mund. Wenn das Aussehen und die anderen sinnlichen Eigenschaften der häufigst vorkommenden Dinge auf diese Weise bekannt geworden sind, werden nur die ungewöhnlichen Objekte den Instinkt in Tätigkeit versetzen; das Kalb nähert sich scheu, stets zur Flucht bereit, jedem neuen Gegenstand, der sich auf seinem Gebiete zeigt, und das Kind gukt, hinter die Mutter versteckt, vorsichtig den Fremden an. Wie bei wachsender Entwicklung des Seelenlebens der Instinkt in die Gemütsbewegung Verwunderung übergeht, wurde schon S. 687 erwähnt; das Kind wundert sich, sobald es nicht einfach glotzt, sondern sich der Neuheit, der Ungewöhnlichkeit der Wahrnehmung bewußt ist. Daß die instinktive Reaktion aber auf der höheren Stufe nicht wegfällt, kann man tagtäglich auf den Straßen sehen, wo jedes unbedeutende Ereignis sofort eine glotzende Schar heranzieht.

Die Verwunderung setzt schon die Anfänge eines geistigen Ich, eine Summe erworbener Kenntnisse voraus; sonst würde man sich der Neuheit einer Beobachtung nicht bewußt werden können. Mit wachsender Einsicht auf irgendeinem Gebiete wird es natürlich immer seltener vorkommen, daß eine neue Beobachtung oder Mitteilung völlig neu erscheint, und die Verwunderung wird daher auch immer seltener. Dagegen werden neue Beobachtungen oder Mitteilungen stets häufiger Vorstellungen reproduzieren, die sich auf analoge Verhältnisse beziehen, und diese Reproduktionen können dann entweder mit den neuen Vorstellungen übereinstimmen oder denselben widersprechen. Die Übereinstimmung ist einfach eine Bestätigung der Kentnisse des Individuums, eine Förderung des geistigen Ich, und ist daher lustbetont; umgekehrt ist der Widerspruch eine Herabsetzung, Störung des Ich, und mithin unlustbetont. Je nachdem nun die neuen Vorstellungen

[1]) Mc Dougall. a. a. O. S. 147.

durch Übereinstimmung Lust, durch den Widerspruch Unlust erwecken, erscheinen sie uns unmittelbar wahr bzw. unwahr. Selbstverständlich verbürgt uns nichts, daß solche Gefühlsurteile immer richtig seien; Tatsache ist nur, daß derartige Urteile das Beobachten, Vorstellen und Denken fast immer begleiten. Da ein Widerspruch, verschiedene Vorstellungen von derselben Sache, auf die Dauer aber unerträglich wird, muß er beseitigt werden. Erfahrungsmäßig zeigt sich denn auch dies *Gefühl des Widerspruches*, der Unwahrheit, sehr häufig als Motiv wissenschaftlicher Forschung, während das *Gefühl der Übereinstimmung* der Kompaß ist, der dem Forscher zeigt, wo die Wahrheit zu suchen ist[1]). — Wenn in gegebenem Falle kein ausgesprochenes Gefühl entsteht, indem der Zustand zwischen der lustbetonten Übereinstimmung und dem unlustbetonten Widerspruch schwankt, wird die Gemütsbewegung *Zweifel* genannt.

Kombinationen der Affekte. Es gibt eine große Anzahl Kombinationen der im vorhergehenden erwähnten Affekte. Es würde keinen Zweck haben, hier eine einigermaßen vollständige Angabe zu versuchen; beispielsweise sollen nur die von Mc Dougall analysierten angeführt werden. Diese Analysen sind nach meinem Ermessen fast alle völlig zutreffend. In der *Bewunderung* findet er sowohl Verwunderung als negatives Selbstgefühl. *Ehrfurcht* ist Bewunderung und Furcht, *Dankbarkeit* herabgestimmtes Selbstgefühl und Zärtlichkeit und die *Verehrung* schließlich eine Kombination von Ehrfurcht und Dankbarkeit. *Geringschätzung* ist Abscheu mit positivem Selbstgefühl verbunden, *Widerwille* ist Abscheu und Furcht, *Verachtung* Abscheu und Zorn, und im *Entsetzen* findet man Abscheu, Furcht und Verwunderung. *Neid* schließlich ist negatives Selbstgefühl und Zorn. Die übrigen Analysen Mc Dougalls sind entweder nicht einwandfrei, oder sie betreffen zum Teil die sympathischen Affekte, die im folgenden Kapitel zu erörtern sind.

Fünfundachtzigstes Kapitel.

Die sympathischen und ästhetischen Gefühle.

Die sympathischen und ästhetischen Gefühle unterscheiden sich, unseren obigen Betrachtungen zufolge, nur dadurch von

[1]) Lehmann: Hauptgesetze, S. 222 u. f.

den autopathischen, daß sie sich auf immer mehr periphere Teile des Ich beziehen. Man kann für eine andere Person Freude, Kummer, Hoffnung, Ärger, Furcht, Scham, Zorn, Abscheu usw. fühlen, und diese Zustände können ebenso starke Gemütsbewegungen sein, d. h. das Ich kann sich ebenso stark gefördert oder herabgesetzt fühlen, als wenn sie sich auf die eigene Person bezogen hätten. Die Tatsache ist über jeden Zweifel erhaben, es fragt sich also nur, wie diese Erweiterung des Ich zustande kommt, obwohl alle Erfahrungen des Kindes in den ersten Lebensjahren dazu führen, das eigene körperliche Ich als etwas von der Umgebung durchaus Verschiedenes aufzufassen.

Über die sympathischen Gefühle gehen die Ansichten der Psychologen noch sehr auseinander. James betrachtet die Sympathie als ein Gefühl (Emotion) oder einen Instinkt[1]). Die meisten Forscher gebrauchen zwar das Wort in der hier angewandten Bedeutung, wonach es Gefühle bezeichnet, die sich auf die eigene Person nicht beziehen; es wird aber oft der Schutzinstinkt (Mutterliebe, Zärtlichkeit) als die instinktive Grundlage der Sympathie aufgefaßt[2]). Ribot unterscheidet allerdings zwischen der Sympathie und der Zärtlichkeit, er sieht aber die Sympathie als eine Eigenschaft der lebendigen Materie an[3]), wodurch jede psychologische Erklärung der Erscheinung wegfällt. Mit den Darstellungen Baldwins und Mc Dougall's bin ich am meisten einverstanden. Der erstere Forscher hat besonders die Bedeutung des Ich für die Entwicklung der sympathischen Gefühle hervorgehoben, nimmt aber außerdem eine „organische“ Sympathie an[4]), die auf dasselbe hinausläuft wie die „emotionelle Suggestion“, die Mc Dougall als die Grundlage der Sympathie aufstellt[5]). Ob diese Gefühlssuggestion aber ein angeborener, pseudoinstinktiver Vorgang sei, wie die beiden Forscher anzunehmen scheinen, kommt mir sehr zweifelhaft vor; diese Frage soll im folgenden behandelt werden. Von der Auffassung in der neueren deutschen Psychologie ist nicht viel zu sagen. In Wundts dreibändiger physiologischer Psychologie, 6. Aufl., die auf eine gewisse Vollständigkeit Anspruch machen dürfte, kann ich das Wort überhaupt nicht finden und ebensowenig in der allerdings noch nicht abgeschlossenen Psychologie von Ebbinghaus.

Entwicklung der sympathischen Affekte. Beruhen die sympathischen Emotionen, wie die meisten modernen Forscher anzunehmen scheinen, auf gewissen angeborenen Tendenzen oder gar auf allgemeinen Eigenschaften der organisierten Materie.

---

[1]) Text-book of Psychol. 1892, S. 407.

[2]) Vgl. Höffding: Psykologi i Omrids. Kopenhagen 1911, S. 318.

[3]) Psychologie des sentiments. 1896. S. 229.

[4]) Social and ethical interpretations. New York. 1899. S. 220.

[5]) A. a. O. S. 90 u. f.

so kann von der Entstehung dieser Erscheinungen keine Rede sein, unsere Aufgabe muß sich dann darauf beschränken, ihr erstes Auftreten beim Säugling und ihre fernere Entwicklung nachzuweisen. In diesem Falle würde die im vorhergehenden vertretene Auffassung, daß die sympathischen Gefühle nur durch eine Erweiterung des Ich möglich werden, entschieden falsch sein; die Beziehung der beiden Erscheinungen müßte dann eben die umgekehrte sein, so daß das Ich sich nur in der Ausdehnung erweiterte, wie es sympathisch erregt werden könnte. Gehen aber die sympathischen Affekte der Erweiterung des Ich zeitlich voraus, kann die Gemütsbewegung auf einer merklichen Veränderung des Ich nicht beruhen; man müßte in diesem Falle sympathische Gemütsbewegungen erleben können, die das Ich überhaupt nicht beträfen, was wohl aller Erfahrung widerspricht. Es scheint mir daher nur die Möglichkeit vorzuliegen, daß die sympathischen Gefühle von der Erweiterung des Ich abhängig sind, und diese Annahme stimmt denn auch am besten mit allen bisher vorliegenden Beobachtungen über die Entwicklung der Gefühle beim Kinde überein. Wir gehen daher zuvörderst auf die Entwicklung des materiellen Ich näher ein.

Das körperliche Ich entsteht in den ersten Lebensjahren, indem das Kind seinen Körper als etwas von der Außenwelt Verschiedenes aufzufassen lernt (S. 661). Gleichzeitig mit dieser Abgrenzung fängt aber auch der Vorgang an, wodurch das körperliche Ich sich so erweitert, daß es zum materiellen wird. Hierzu trägt in erster Instanz die *Assoziation* bei. Mit der Vorstellung vom Körper als Ich assoziieren sich unvermeidlich die Vorstellungen von den umgebenden Gegenständen, vom Spielzeug, vom Tischlein und Stühlchen des Kindes usw. Dieser Assoziationsprozeß setzt sich auch später fort, indem neue Umgebungen die alten Vorstellungen verdrängen; wie fest aber solche Vorstellungen mit dem Ich oft verknüpft sind, geht daraus hervor, daß viele Menschen sich ihr eigenes Ich nicht vorstellen können, ohne daß eine Umgebung reproduziert wird (S. 601). Selbstverständlich steht aber die, meistens visuell reproduzierte Umgebung recht nebelhaft neben den Organempfindungen, die das Ichgefühl ausmachen, und werden wohl nur bemerkt, wenn die Aufmerksamkeit darauf gelenkt wird. Eben deshalb stören diese Assoziationen auch nicht im geringsten die Unterscheidung des Körpers von der Außenwelt; das kleine Kind bemerkt gar nicht — und die meisten

Erwachsenen tun es wohl auch nicht —, daß die Vorstellung vom Ich auch Elemente der Außenwelt enthält. Unbemerkte Vorstellungen können aber, wie wir wissen, einen wesentlichen Einfluß auf andere Bewußtseinszustände ausüben.

Die unbemerkten Vorstellungen vom materiellen Ich erhalten nun ihre emotionelle Bedeutung durch die *Adaptation*. Wegen der Angewöhnung spielen nämlich die konstanten äußeren Verhältnisse sowie die täglich gesehenen und gehandhabten Gegenstände in emotioneller Beziehung keine große Rolle, solange sie da sind (S. 386). Selbst der Gemälde und anderer Zierden unserer Wohnung werden wir leicht satt, wenn sie genügend oft betrachtet sind und keine Tätigkeit unsererseits hervorrufen. Jede Veränderung der Umgebung, an die wir uns auf die Weise adaptiert haben, wird aber dann fast immer als eine direkte Herabsetzung oder Förderung des Ich merklich und ruft somit eine Gemütsbewegung hervor. Es ist leicht verständlich, daß jede Verschlechterung der Verhältnisse, weniger Licht, Luft und Raum, unbequemere Möbel usw. die Tätigkeit des Ich hemmen und somit leicht Kummer, Ärger oder Zornausbrüche herbeiführen, bis man sich an die neuen Verhältnisse gewöhnt hat. Aber selbst eine Verbesserung ist anfangs oft keine Annehmlichkeit: man kann sich in den größeren Zimmern nicht zurecht finden, man bringt es nicht übers Herz, die neuen Möbel zu gebrauchen usw. Allmählich kommt aber alles wieder in Ordnung, und dann kann man sich über die gewonnenen Vorteile freuen. Diese Beispiele zeigen, wie die Verhältnisse, die nur den Rahmen und die Mittel der täglichen Tätigkeit bilden, einfach wie ein Teil des Ich wirken, und dasselbe gilt natürlich in noch höherem Grade von den Ergebnissen dieser Tätigkeit. Was man geleistet hat, ist ja aus dem Ich hervorgegangen und mithin ein Teil des Ich; jede Förderung oder Vernichtung des Produzierten hat daher fast dieselbe Gefühlswirkung, als ob sie das körperliche Ich betroffen hätte. *Das Ich verhält sich also wegen der Assoziation und der Adaptation in emotioneller Beziehung, als ob es diejenigen Teile der Außenwelt umfaßte, womit es fortwährend verkehrt; man wird sich aber im allgemeinen dieser Erweiterung seines Ich nicht direkt bewußt.*

Bisher wurde ausschließlich die leblose Umgebung berücksichtigt; was hiervon gesagt worden ist, gilt natürlich zum Teil auch von den lebenden Wesen, die konstant zur Umgebung gehören. Der Säugling, der von der Mutter gut

gepflegt und gewartet wird, schreit selbstverständlich sofort, wenn sie einmal nicht zur rechten Zeit bei der Hand ist; und da sie die konstante Quelle seiner größten Lust ist, assoziiert sich bald der Anblick der Mutter mit der lustbetonten Vorstellung vom Essen. Schon der dreimonatliche Säugling lächelt daher die Mutter an, wenn er sie sieht. Diese Auffassung des ersten Lächelns entspricht gewiß den Tatsachen besser als die Behauptung, daß diese und andere Ausdrucksbewegungen durch *emotionelle Suggestion*, unwillkürliche Nachahmung, schon in dem erwähnten Alter zustande kommen [1]). Von Suggestion, unwillkürlicher Nachahmung, kann einfach deshalb keine Rede sein, weil das Lächeln anfangs nur beim Anblick der Mutter zu beobachten ist, während der Säugling sich allen Fremden gegenüber immobil verhält. Preyer hebt diese Tatsache bestimmt hervor [2]), und meine eigenen Beobachtungen stimmen hiermit überein. Das Mädchen, das ich seinerzeit recht genau beobachtete, lächelte schon am 88. Tage die Mutter an, mich dagegen erst 12 Tage später, obwohl ich mich häufig mit ihm beschäftigt hatte. Es handelt sich also hier vorläufig gar nicht um die Abspiegelung einer gesehenen Miene, sondern um den Ausdruck einer autopathischen Freude, die nur durch ein bekanntes Gesicht hervorgerufen wird. Ebensowenig läßt sich ein dreimonatliches Kind durch ein ernstes oder trauriges Gesicht suggestiv beeinflussen. Der Säugling zeigt gewiß nie die Spur von Unlust, wenn die Mutter ein solches Aussehen darbietet, und eben der Mutter gegenüber wäre „die Sympathie“ doch am ehesten zu erwarten. Dagegen kann das strenge Gesicht eines Fremden sehr wohl das Schließen der Augen, das Wegwenden des Kopfes und das Schreien veranlassen [3]), was aber einfach die charakteristischen Äußerungen des Fluchtinstinktes sind. Von Nachahmung kann man jedenfalls nicht sprechen, da die Gebärden und Mienen des Kindes denjenigen der anderen Person gar nicht ähnlich sind.

Es kann also als dargetan angesehen werden, daß beim dreimonatlichen Kinde noch keine Rede von den Anfängen sympathischer Gefühle, von suggestiv erregten Gemütsbewegungen sein kann. Wann suggerierte Affekte zuerst auftreten, ist nicht leicht zu entscheiden. Eine notwendige Be-

[1]) Mc Dougall, a. a. O. S. 94. Finnbogason: Den sympatiske Forstaaelse (Das sympathische Verständnis). Kopenhagen 1911. S. 16.

[2]) Seele des Kindes, 1884. S. 218.

[3]) Preyer, a. a O. S. 109.

dingung des Auftretens ist augenscheinlich, daß sich beim Kinde eine feste Verknüpfung zwischen den Gesichts- und Schallbildern der Affektäußerungen einerseits und den kinästhetischen Empfindungen dieser Veränderungen andererseits gebildet hat. Wir dürfen nämlich aller Wahrscheinlichkeit nach annehmen, daß der Mechanismus, wodurch gewisse Reize bestimmte Affektäußerungen hervorrufen, dem Kinde angeboren ist. Allerdings werden sowohl die Gemütsbewegungen als ihre körperlichen Begleiterscheinungen mit wachsender Entwicklung des Seelenlebens komplizierter[1]; beispielsweise sei daran erinnert, daß der Säugling erst um die sechste Woche zu weinen anfängt, obwohl er schon von der Geburt an zahlreiche andere Äußerungen des Schmerzes gezeigt hat. Da aber Lust und Unlust sich schon beim Neugeborenen durch ganz zweifellose, körperliche Veränderungen kundgeben, ist der betreffende Mechanismus also angeboren und sofort funktionsfähig. Die körperlichen Veränderungen kommen als Bewegungs- und andere Organempfindungen zum Bewußtsein, und gleichzeitig sieht das Kind die Bewegungen seiner Glieder, hört sein eigenes Schreien usw. Es bilden sich daher, bei der Wiederholung bestimmter Gemütsbewegungen, feste Assoziationen zwischen den verschiedenen Empfindungen. Seine eigentümlichsten Affektäußerungen, die mimischen Bewegungen, kann das Kind aber nicht sehen; daß es während einer Gemütsbewegung zufällig sein Spiegelbild wahrnimmt, wird doch immer eine Ausnahme sein. Den eigenen Gesichtsausdruck lernt das Kind somit nur auf Umwegen kennen[2]) und wahrscheinlich relativ spät. Es bilden sich aber schließlich Assoziationen zwischen den Gesichtsbildern der mimischen Veränderungen und den kinästhetischen Empfindungen, und dann wird die Wahrnehmung der Affektäußerungen einer anderen Person analoge Bewegungstendenzen und Organempfindungen im eigenen Körper hervorrufen. Wenn aber der Affekt einer Person beim Kinde suggestiv ungefähr dieselbe Gemütsbewegung erregt, obwohl das Kind von den Ursachen des Affektes gar nicht beeinflußt wird, so liegt ein sympathisches Gefühl vor.

Es ist nun leicht ersichtlich, daß es äußerst schwierig sein kann, zu entscheiden, wann das Kind überhaupt anfängt, sympathische Gefühle zu haben, weil die meisten Affekte des

---

[1]) Lehmann, Hauptgesetze. S. 291 u. f.

[2]) Prandtl: Die Einfühlung. Leipzig 1910. S. 32 u. f.

Kindes ebensowohl autopathischer Natur als suggestiv erregt sein können. Der Anblick der zärtlichen oder zornigen Mutter z. B. braucht gar nicht sympathisch analoge Gemütsbewegungen zu erwecken; was wir beim Kinde unter diesen Umständen beobachten, können einfach autopathische Affekte sein, die von den erwarteten Liebkosungen oder Züchtigungen erregt werden. In jedem einzelnen Falle die Art des Affektes zu bestimmen, ist somit nicht leicht; dem oben Angeführten zufolge wird aber eine Gemütsbewegung nur dann suggestiv erregt werden können, wenn die nötigen Verknüpfungen sich zwischen den verschiedenen Äußerungen des Affektes beim Kinde gebildet haben, was selbstverständlich erfordert, daß das Kind die betreffende autopathische Gemütsbewegung erlebt hat. Es leuchtet somit ein, daß *beim Kinde nur solche Gemütsbewegungen sympathisch zustande kommen können, die es vorher autopathisch erlebt hat.*

Wir haben in aller Kürze gesucht, den Vorgang darzustellen, wodurch sympathische Gefühle überhaupt möglich werden. Die fernere Entwicklung geht in derselben Richtung fort. Das Kind erlebt immer mehr und verschiedenartigere Gemütsbewegungen, wodurch die sympathisch erregten Gefühle ebenfalls zahlreicher werden und eine stets wachsende Ähnlichkeit mit den beobachteten Affekten, die sie hervorrufen, möglich wird. Eine völlige Übereinstimmung zwischen dem beobachteten Affekte und dem resultierenden sympathischen Gefühl kommt wohl erst dann zustande, wenn der Beobachter willkürlich oder unwillkürlich nicht nur die allgemeinen, sondern auch die individuellen Eigentümlichkeiten der beobachteten Affektäußerungen nachahmt, was einigen Menschen gelingt [1]. Nur auf diese Weise wird eine wirkliche „Einfühlung“, ein völliges „sympathisches Verständnis“ erreicht; hierzu gehört aber gewiß ein besonderes Talent. Aber selbst wenn bei der Beobachtung eines Affektes nur ein ähnliches Gefühl erregt wird, ist ja auch hierdurch eine, nur weniger vollständige Einfühlung zuwege gebracht. Das *sympathische Verständnis*, die Einfühlung, *beruht also darauf, daß die Wahrnehmung der Affektäußerungen einer anderen Person beim Beobachter analoge Gefühle suggestiv hervorruft.*

Die emotionelle Suggestion ist von der gegenseitigen Beziehung der beiden daran beteiligten Personen durchaus unabhängig. Wenn man auf der Straße ein fremdes, etwa ein-

---

[1]) Finnbogason, a, a. O. S. 109 u. f.

jähriges Kind anlächelt, sieht man in neun von zehn Fällen, wie das Lächeln beantwortet wird; im zehnten Falle gelingt es nicht, weil man die Aufmerksamkeit des Kindes nicht fesseln kann. Und wenn man darauf die Brauen runzelt und ein ernstes Gesicht zeigt, verschwindet das Lächeln des Kindes sofort. Obgleich man dem Kinde ganz fremd ist, in keiner Beziehung zu seinem höchst unentwickelten Ich steht, gelingt die emotionelle Suggestion sehr wohl; die Innigkeit des erregten Gefühls wird aber zweifellos sehr gering, wie die Selbstbeobachtung lehrt. Nehme ich an einer mir ganz fremden Person z. B. den Ausdruck des Kummers wahr, so habe ich neben dem Bilde des Menschen eine sympathische Unlust, die ich aber völlig dem Fremden zuschreibe, da ich im Augenblicke mir keiner Ursache des Kummers bewußt bin. Ich sehe also eigentlich nur den Affekt, der mich äußerst wenig angeht, d. h. die Ichvorstellungen und ihre Veränderungen werden mir kaum bewußt, so daß das sympathische Gefühl zunächst nur „vorgestellt“ wird. Ganz anders liegt die Sache, wenn die betreffende Person mir nahe steht, d. h. wegen zahlreicher vorhergehender Berührungen mit meinem Ich fest assoziiert ist, mithin einen mehr oder weniger zentralen Teil desselben bildet. Die Wahrnehmung dieser Person reproduziert sofort unsere gegenseitigen Beziehungen, wodurch auch mein körperliches Ich hervorgerufen wird; da aber die beobachteten Affektäußerungen bei mir analoge körperliche Zustände herbeiführen, wird mein Ich eine merkliche Veränderung erleiden. Das sympathisch erregte Gefühl erhält mithin den Charakter der Gemütsbewegung, was noch stärker hervortritt, wenn mir die Ursache des Kummers mitgeteilt wird. Das hier nur beispielsweise Dargestellte wird augenscheinlich in allen Fällen zutreffen: *Das Ergriffensein ist von der Beziehung der wahrgenommenen Person zum beobachtenden Ich abhängig. Das sympathische Gefühl wird um so inniger, erhält um so mehr den Charakter der Gemütsbewegung, je näher die betreffende Person dem Zentrum des Ich steht.*

Die emotionelle Suggestion und die Erweiterung des Ich sind also voneinander ganz unabhängige Erscheinungen. Das Ergebnis der Suggestion, das sympathische Gefühl, erhält aber erst seine wesentliche Bedeutung, seine Innigkeit, durch die Erweiterung des Ich. In dieser Beziehung spielen der Schutz- und der Scharinstinkt eine bedeutungsvolle Rolle, indem sie den friedlichen Verkehr zahlreicher Individuen derselben Art

fördern[1]). Mit dem Entstehen der sympathischen Gefühle haben die beiden Instinkte gewiß nur wenig zu tun; wenigstens trägt nur indirekt der Schutzinstinkt hierzu bei. Indem nämlich die Eltern vor einer drohenden Gefahr die Kinder schützen, setzen sie sich selbst dieser Gefahr aus und erleiden somit dieselben Gemütsbewegungen wie die Kinder. Ein solches reales Stellvertreten muß selbstverständlich zur Gemeinschaftlichkeit der Gefühle beitragen, spielt aber neben der suggestiven Wirkung der Affekte wohl nur eine geringere Rolle. Wenn der Schutzinstinkt oder der daraus hervorgehende Affekt (die Zärtlichkeit oder Mutterliebe) oft als das fundamentale sympathische Gefühl angesehen wird, so wird diesem Worte augenscheinlich ein ganz anderer Sinn beigelegt als der hier angewandte. Die Mutterliebe wird ja nämlich von keinen bestimmten Affektäußerungen des Kindes erregt und hat noch weniger Ähnlichkeit mit dem beim Kinde möglicherweise wahrgenommenen Affekt; sie ist also gar kein sympathisches Gefühl. Dagegen haben der Schutz- und der Scharinstinkt die Bedeutung, daß sie mehrere Individuen derselben Art zum friedlichen Zusammenwirken vereinigen, wodurch der Erweiterung der einzelnen Iche über die Grenzen des eigenen Körpers hinaus besonders günstige Bedingungen geschaffen werden. Und diese Erweiterung des Ich ist, wie wir sahen, die wesentlichste Bedingung für die Innigkeit der sympathischen Gefühle.

Es leuchtet indes ein, daß die beiden erwähnten Instinkte nie eine solche Erweiterung des Ich zustande bringen können, wie sie sich im entwickelten menschlichen Bewußtsein tatsächlich nachweisen läßt. Niemand kann mit allen Menschen, noch weniger mit allen lebenden Wesen verkehren, und nichtsdestoweniger können sie zum Ich, wenngleich nur zur Peripherie desselben gehören. Was hier stattfindet, ist eine sogenannte *Verschiebung* (Transfert) des Gefühls, die übrigens nur eine einfache Konsequenz der Assoziationsgesetze ist. Die Gefühlsverschiebung kann zwei verschiedene Formen annehmen. Entweder kann das Gefühl, das von einer Erscheinung A erregt wird, auf die Erscheinungen B, C, D. . ., die in irgendeiner Beziehung zum A stehen, übertragen werden. Oder aber das von A erregte Gefühl kann von den dem A ähnlichen Erscheinungen A_1, A_2, A_3 . . ., erregt werden.

---

[1]) Galton: Inquiries into human faculty. 2. ed. London s. a. S. 47.

Als Beispiele der ersteren Form sei an die im täglichen Leben sehr häufig vorkommenden Fälle erinnert, wo die für eine bestimmte Person gehegten Gefühle sich auf sein Eigentum, seine Handlungen usw. übertragen. Der Verliebte ist entzückt über den Besitz eines Dinges, das der Liebsten gehört hat; selbst an den besten Handlungen eines Feindes findet man leicht etwas zu mäkeln usw. Die andere Form kommt wohl ebenso häufig vor; die Gefühle, die anfangs von bestimmten Exemplaren einer Art erregt worden sind, überträgt man auf alle Exemplare dieser Art: das kleine Mädchen hat gern Puppen; man liebt Hunde, haßt Katzen, fürchtet sich vor Mäusen usw.

Die erstgenannte Form der Verschiebung beruht in der Hauptsache auf einer gewöhnlichen Einheitsassoziation. Die Erscheinungen B, C, D. . . sind mit A assoziiert, und wenn sie diese Vorstellung mit einem intensiven Gefühlston reproduzieren, wird dieselbe leicht unbemerkt, und der Gefühlston scheint den reproduzierenden Vorstellungen unmittelbar anzuhaften. Die zweite Form der Gefühlsverschiebung ist nur ein Spezialfall des Gesetzes von der gegenseitigen Vertretung gleichartiger Zustände. Die gefühlsbetonten Vorstellungen, die mit A assoziiert sind, können nicht nur vom A, sondern auch von den gleichartigen A_1, A_2, A_3 . . . reproduziert werden. Wenn also das Individuum A wegen des tatsächlich stattgefundenen Verkehrs dem Ich angehört, können auch andere Individuen dieselbe Gemütsbewegung wie A erregen. Auf diese Weise kann das Ich sich unbegrenzt erweitern. Hält man den Gedanken fest, daß alle lebenden Wesen sich in der Beziehung ähnlich sind, daß sie Lust und Unlust fühlen können, kann man von den Leiden irgendwelches Wesens sympathisch beeinflußt werden.

Die ästhetischen Gefühle sind diejenigen Emotionen, die ohne eine merkliche Veränderung des zentralen Ich zustande kommen. Es gibt drei Quellen derartiger Gefühlszustände: Sinnesempfindungen, Bewegungen und Vorstellungen.

Die lust- oder unlustbetonten Empfindungen und einfachen Wahrnehmungen sind als elementär-ästhetische Gefühle anzusehen, wenn sie ohne merkliche Veränderung des Ich entstehen, was keineswegs immer der Fall ist. Die mit dem Stillen des Hungers verbundene Lust z. B. wird man als ästhetische Lust nicht bezeichnen können; dagegen können die begleitenden Geruchs- und Geschmacksempfindungen, die mit der Sättigung nichts zu tun haben, sehr wohl einen ästhetischen Genuß gewähren. Umgekehrt sieht ein rotes Licht in einer dunklen Nacht recht hübsch aus, und das Gefühl ist un-

bedenklich als ästhetisch zu bezeichnen. Wenn das Licht aber dem in unsichtbarem Wetter Ausguck haltenden Seemann erscheint und ihm die geringe Entfernung eines sich nahenden Schiffes verkündet, fällt das erregte Gefühl ganz außerhalb der Grenzen des Ästhetischen. — Obwohl die betonten Geruchs- und Geschmacksempfindungen, wie gesagt, kaum aus dem Bereiche der Ästhetik verwiesen werden können, sind es jedoch hauptsächlich die Farben- und Tonempfindungen, die in größerer Ausdehnung die Quellen ästhetischen Genusses werden. Die *Ornamentik* und die *Musik* sind die beiden Kunstarten, deren Wirkungen ausschließlich auf Farben und Tönen beruhen.

Bewegungen als Quelle ästhetischer Lust nehmen zwei verschiedene Formen, das *Spiel* (im eigentlichen Sinne) und den *Tanz*, an. Das Spielen kommt nicht nur beim Menschen, sondern auch bei den meisten höheren Tieren vor; es ist eine spontane Tätigkeit, die einfach dadurch bedingt ist, daß die Jungen die vierundzwanzig Stunden des Tages hindurch nicht essen und schlafen können und sich auf irgendeine Weise beschäftigen müssen. Andere Bewegungen als diejenigen, wozu sie instinktiv veranlagt sind, können die jungen Tiere nicht ausführen, und das Spiel wird daher eine Nachahmung der Tätigkeiten, die sonst im Dienste der Selbsterhaltung, auf der Jagd, im Kampfe usw., ausgeübt werden. Da die Bewegungen aber durch keine äußeren Umstände veranlaßt sind, da keine wirkliche Jagd oder Kampf stattfindet, liegt mithin nur eine Nachahmung dieser Tätigkeiten vor. Ganz analog ahmen die Spiele der Kinder die Wirksamkeiten des täglichen Lebens nach. Eben weil es sich in allen Fällen nur um Nachahmungen handelt, können die Bewegungen ästhetische Lust herbeiführen, da das Ich durch die Tätigkeit und ihre Ergebnisse keine merkliche Veränderung erfährt; sobald es aber Ernst wird, treten autopathische Affekte sehr verschiedener Art auf.

Die Bedeutung der Spiele ist, wie leicht ersichtlich, nicht darauf beschränkt, ästhetische Lust hervorzurufen. Diese Lust trägt gewiß dazu bei, daß das Spielen in müßigen Stunden immer wieder aufgenommen wird; hierdurch wird aber eine für die Entwicklung höchst wertvolle Einübung der Fähigkeiten erzielt, die später im Kampfe ums Dasein zu Nutzen kommen[1]).

[1]) Groos: Die Spiele der Tiere. Jena 1896. Groos: Die Spiele der Menschen. Jena 1899. Mc Dougall a. a. O. S. 107 u. f.

Der Tanz unterscheidet sich vom Spiel nur dadurch, daß die auszuführenden Bewegungen mehr oder weniger fest vorgeschrieben und rhythmisch geordnet sind. Der Tanz hat sich aus dem Spiele entwickelt, was sich bei vielen Naturvölkern nachweisen lässt, deren Kampftänze eigentlich nur Kampfspiele, Nachahmungen der im Kampfe vorkommenden Episoden sind. Die religiösen Tänze, die bei vielen Kulturvölkern des Altertums gebräuchlich waren, sind meistens Darstellungen mythologischer Szenen gewesen, also ebenfalls Nachahmung von Erlebnissen, die den recht menschlich vorgestellten Göttern zugeschrieben wurden. Diese Darstellungen waren aber gewiß schon Tänze im eigentlichen Sinne, indem wenig oder nichts der Willkür der Darstellenden überlassen wurde.

Die letzte Quelle des ästhetischen Genusses sind die komplizierten Wahrnehmungen und Vorstellungen, wodurch alle möglichen Arten von Gemütsbewegungen erregt werden können, die aber eben ästhetische Gefühle sind, wenn sie sich nur auf periphere Teile des Ich beziehen. In ihrer reinsten Form, unabhängig von andern ästhetischen Faktoren, tritt diese Wirkung in der *Prosaerzählung* hervor, die einfach menschliche Erlebnisse beschreibt. Ästhetischer Genuß wird die Erzählung nur dann, wenn die Personen entweder erdichtet oder dem Leser (Zuhörer) in Zeit oder Raum so weit entfernt sind, daß sie nur periphere Teile seines Ich bilden. Ist diese Bedingung aber nicht erfüllt, handelt die Erzählung von Ereignissen, die dem Leser zu nahe auf den Leib rücken, werden einfach sympathische Gefühle erweckt. Die ästhetische Wirkung der Dichtkunst beruht also darauf, das man die Darstellung als Wirklichkeit hinnimmt mit dem Bewußtsein, daß sie dennoch nicht wirklich ist; das Gefühl beruht auf einer bewußten Illusion. In der *Poesie* werden diese Illusionsgefühle noch mit der ästhetischen Wirkung des Rhythmus und des Reimes, in der *Skulptur* und *Malerei* mit der der schönen Formen und Farben verbunden. Die kompliziertesten ästhetischen Wirkungen werden wohl erzielt, wenn Gedichte von Musik begleitet gesungen werden oder Schauspiele als wirkliche Erlebnisse vor die Augen der Zuschauer vorgeführt werden.

Den sämtlichen verschiedenen Formen des ästhetischen Genusses ist es gemeinsam, daß die Tätigkeit des Geniesenden nicht direkt im Dienste der Selbsterhaltung steht. Groos hebt daher mit Recht hervor, daß sowohl die Wahrnehmungen als auch die Bewegungen und Vorstellungen nur dann ästhetische

Gefühle hervorrufen, wenn sie Spiele sind. Eine ganz andere Frage ist, ob auch alle Spiele, z. B. die sogenannten Verstandesspiele (Schach usw.), zur Ästhetik gehören. Mir scheint es wenigstens, daß solche Spiele in so hohem Grade Intelligenzprüfungen sind, die das Selbstgefühl in positiver oder negativer Richtung beeinflussen, daß von ästhetischen Gefühlen keine Rede sein kann.

Sechsundachtzigstes Kapitel.

Die sozialen, ethischen und religiösen Gefühle.

Die Fundamente der höheren tierischen sowie der menschlichen Gesellschaften sind der Schutz- und der Scharinstinkt; der erstere ist die Grundlage der Familie, der letztere die der Herde. Im Tierreiche scheint meistens ein gewisser Gegensatz zwischen den beiden Instinkten zu bestehen, indem bei starker Entwicklung des einen Instinktes der andere sich relativ wenig geltend macht und umgekehrt. Die Raubtiere z. B., die, um genügend Nahrung zu finden, ein großes Jagdrevier haben müssen, leben daher vereinzelt, führen aber ein ausgesprochenes Familienleben, während die Pflanzenfresser, die fast immer herdenweise vorkommen, sich relativ wenig um ihre Jungen bekümmern. Nur bei den Affen scheint die Familie eine relativ feste Gruppe innerhalb der Herde zu bilden, und hier finden wir mithin die Anfänge der sozialen Ordnung, die ihre höchste Entwicklung in der zivilisierten menschlichen Gesellschaft erreicht.

Es wurde schon oben erwähnt, wie die beiden Instinktaffekte, die Zärtlichkeit und das Sicherheitsgefühl, die Menschen zu gegenseitiger Hilfe vereinigen und dadurch die notwendigste Bedingung für die Entwicklung der sympathischen Gefühle schaffen. Außer den sympathischen gibt es indes noch eine Gruppe von Gefühlen, die überhaupt nur in einer Gesellschaft entstehen können, nämlich die Selbstgefühle, die die Existenz eines sozialen Ich voraussetzten. Die Vereinigung der Individuen, die durch die Schutz- und Scharinstinkte zustande gebracht ist, wird mittels der sympathischen und der Selbstgefühle weiter befestigt, und durch Kombinationen dieser letzteren entstehen die eigentlichen sozialen Gefühle. Gehen wir auf diese Entwicklung etwas näher ein.

Der Schutzinstinkt kann allerdings tätig werden, wenn das einem Individuum drohende Übel eine äußere Ursache

hat, die von einem anderen bemerkt werden kann. Beim Menschen sind aber die unmittelbar bevorstehenden, von außen drohenden Gefahren keineswegs die wesentlichsten oder häufigsten. Selbst unter primitiven sozialen Verhältnissen können Konflikte zwischen den Mitgliedern des Stammes vorkommen, die nicht sofort erledigt werden und daher mit einem künftigen Übel drohen. Das bedrohte Individuum wird aber nur dann von seiten seiner Genossen auf Hilfe rechnen können, wenn sie von seinen Gefühlen sympathisch beeinflußt werden. Das Vorhandensein sympathischer Gefühle ist also eine notwendige, aber keineswegs ausreichende Bedingung dafür, daß Hilfe geleistet werden wird. Sympathisches Fühlen ist durchaus nicht dasselbe wie *altruistisches*, d. h. auf das Wohl anderer Menschen abzielendes, Handeln. Dieser Unterschied wird noch häufig übersehen, obwohl die nicht unbekannte Parabel vom barmherzigen Samariter deutlich zeigt, wie eine sympathische Unlust die betreffende Person viel leichter zum Fortgehen als zur Hilfsbereitschaft bewegt. Die sympathischen Gefühle können also sehr wohl den Schutzinstinkt in Tätigkeit setzen, sie tun es aber keineswegs immer. Die Selbstgefühle haben aber in dieser Beziehung ihre wesentliche Bedeutung, indem sie das altruistische Handeln fördern. Die Beeinflussung des Selbstgefühls in positiver und negativer Richtung durch Lob und Tadel muß eben dazu beitragen, altruistisches Handeln hervorzurufen, weil solche Handlungen, die das Wohl anderer fördern, im allgemeinen von diesen anderen gelobt werden.

Es tragen also der Schutz- und der Scharinstinkt, die sympathischen und die Selbstgefühle je auf ihre Weise dazu bei, die Individuen zur gegenseitigen Hilfe zu vereinigen. Gegen diese sozialen Instinkte und Gefühle mit den daraus hervorgehenden altruistischen Tendenzen wirken indes fortwährend die mit *egoistischen* Trieben verbundenen autopathischen Gefühle, die nur auf das persönliche Wohl des Individuums abzielen, und in demselben Individuum kann je den Umständen nach bald die eine, bald die andere Gruppe von Gefühlen und Trieben die Oberhand haben. Werden die sozialen Gefühle und altruistischen Triebe des Individuums einem anderen gegenüber konstant mit entsprechenden Gefühlen beantwortet, so bilden sich nach und nach sehr komplizierte Gefühlsmischungen, die je nach den gegenseitigen Beziehungen der Individuen als *Wohlwollen*, *Freundschaft*, *Liebe* oder *Mitleid* bezeichnet werden. Wenn dagegen die Gefühle des Individuums

nicht beantwortet werden, sondern nur egoistischen Tendenzen begegnen, entwickeln sich meist Gefühlskomplexe entgegengesetzter Art: *Feindschaft*, *Haß*, *Schadenfreude* usw. Auf die nähere Analyse dieser Komplexe brauchen wir hier nicht einzugehen.

Wenn die egoistischen Tendenzen eines Individuums dermaßen die Oberhand nehmen, daß das primitive Sicherheitsgefühl seiner Genossen gefährdet wird, so entsteht natürlich der Trieb, das Gefühl wiederzugewinnen, indem das antisoziale Individuum, der Verbrecher, unschädlich gemacht wird. In dieser Gefährdung des Sicherheitsgefühls der Gesellschaft und in dem damit verbundenen Streben nach seiner Wiederherstellung liegt der Anfang der *ethisehen Gefühle,* der sich wahrscheinlich schon bei den höheren Tieren nachweisen läßt. Wenn z. B. die Störche im Herbste sich zum Wegzuge versammeln, kommt es zuweilen vor, daß ein schwaches Tier von den andern getötet wird. Es ist nicht eben wahrscheinlich, daß sie es tun, um vorzubeugen, daß der Schwächling elend vor Hunger und Kälte im nordischen Winter sterbe, oder daß er unterwegs herabstürze und ertrinke. Denn erstens wissen die Störche wohl nichts vom Winter und vom Ertrinken, und zweitens könnte man ihnen kaum, selbst wenn sie es wüßten, eine solche Barmherzigkeit zutrauen. Dagegen können sie erfahrungsmäßig sehr wohl wissen, daß die Langsamkeit der Schwächlinge die Sicherheit der Schar gefährdet, wem nur der Tod dieser Tiere vorbeugen kann. Auf den untersten Stufen des sozialen menschlichen Lebens wird derselbe Zweck, die Sicherheit des Stammes, konsequent auch dadurch erreicht, daß der Verbrecher getötet, oder, wo es sich durchführen läßt, des Landes verwiesen wird. Daß eine solche Ausmerzung der antisozialen Individuen sehr zur Festigung der sozialen Tendenzen beiträgt, liegt auf der Hand.

Auf höheren Stufen des sozialen Lebens, wo die Beziehungen der Individuen und damit auch die antisozialen Handlungen mannigfacher Art sind, ist es leicht zu bemerken, daß die verschiedenen Handlungen die Sicherheit der Gesellschaft keineswegs in demselben Grade gefährden. Es entsteht dann die Vorstellung von einer nach dem Schädlichkeitsgrade abgemessenen Vergeltung, die Strafe, und das primitive ethische Gefühl wird damit zum *Gerechtigkeitsgefühl.* Unter solchen Verhältnissen entwickeln sich bei den Mitgliedern der Gesellschaft die sozialen Iche und die daraus hervorgehenden Selbst-

gefühle, die schon oben als ein wesentlicher Faktor zur Förderung der sozialen Tendenzen nachgewiesen wurden. Auf diese Entwicklung brauchen wir nicht näher einzugehen; die Entwicklung des sozialen Ich des Kindes, die oben erörtert wurde (S. 663), wiederholt nur beim einzelnen Individuum den Vorgang, der beim Übergang der Menschen von niederen zu höheren sozialen Formen stattgefunden hat. Auf den höchsten Stufen dieser Entwicklung wird die Strafe als Gewaltakt fast völlig entbehrlich, indem die Anerkennung und Mißbilligung seitens der Genossen, „die öffentliche Meinung“, die Triebkräfte des sozialen Handelns werden. Meistens ist dann auch dies Handeln als Gewohnheit so befestigt, daß sie andere Natur geworden ist; tritt aber gelegentlich ein Konflikt mit den egoistischen Tendenzen ein, meldet sich die unlustbetonte Vorstellung von der Mißbilligung der Mitmenschen als *Pflichtgefühl.* Und die unlustbetonte Vorstellung von der Unvermeidlichkeit der Strafe, wenn das Verbrechen entdeckt wird, nennt man das *Verantwortungsgefühl.* Wird eine antisoziale Handlung dennoch ausgeführt, kann die Vorstellung vom Widerstreit dieser Handlung mit dem sonstigen Benehmen des Individuums stark unlustbetont werden; diese Gemütsbewegung ist die *Reue.*

In den Diskussionen über die sogenannte „Freiheit des Willens“ haben die Indeterministen großes Gewicht auf das Verantwortungsgefühl gelegt, indem sie folgendermaßen argumentieren. Daß ich mich verantwortlich fühle, heißt mit anderen Worten, daß ich zugebe, mit Gerechtigkeit bestraft werden zu können, wenn ich mich eines Verbrechens schuldig mache. Gerecht kann die Strafe aber nur dann sein, wenn ich frei bin, so daß ich mich unabhängig von äußeren und inneren Umständen entschließen kann. Entweder muß also der Wille frei oder das Verantwortungsgefühl eine Illusion sein. Der hier vorliegende logische Zirkel ist recht durchsichtig. Mit der Gerechtigkeit der Strafe wird die Freiheit in die Prämissen eingeführt und kommt folglich in der Konklusion wieder zum Vorschein. Im Verantwortungsgefühl liegt aber gar keine Gerechtigkeit, sondern nur Notwendigkeit. Die Gesellschaft ist selbstverständlich ebenso determiniert wie das Individuum, und die Strafe folgt daher dem Verbrechen mit der Notwendigkeit eines Naturgesetzes, was sich in gewissen Fällen leicht beobachten läßt. Überall, wo das Sicherheitsgefühl einer völlig rechtlosen Gesellschaft von einem Individuum zu stark verletzt wird, konstituiert sich das Lynchgericht, nicht als Ergebnis philosophischer Erwägungen über die Gerechtigkeit der Strafe, sondern mit instinktiver Notwendigkeit. Und der Verbrecher weiß, daß er getötet wird, sobald man seiner Person habhaft werden kann; von einer Diskussion mit seinen Richtern über die Gerechtigkeit der Strafe im allgemeinen oder in seinem speziellen Falle wird

gar keine Rede sein. Dieses nicht eben angenehme Wissen ist durchaus keine Illusion, sondern einfach das Verantwortungsgefühl.

Eine Grenze zwischen *Moral*, den ethischen Forderungen der Gesellschaft, und *Religion* läßt sich bei den primitivsten der bekannten Naturvölker nicht ziehen. Viele Sitten und Gebräuche sind nach unserer Auffassung einfach sinnlos, und die betreffenden Völker können gewöhnlich auch nicht den Sinn enträtseln. Sie wissen nur, daß es bei ihren Vorfahren so gebräuchlich war, und daß es notwendig ist, damit die „Geister“, die „Mächte“, ihnen nicht zürnen. Wer diese Geister oder Mächte sind, können sie aber nicht erklären. Auf einem solchen Standpunkt stehen die Botokuden in Brasilien, die Buschmänner in Südafrika und die Pescheräer auf dem Feuerlande, und ganz dieselben Ansichten sind neuerdings bei den heidnischen Polareskimoen in Grönland gefunden. In diesem letzteren Falle wenigstens kann man davon ausgehen, daß von ihren „religiösen“ Ansichten nichts verborgen geblieben oder falsch aufgefaßt worden ist, weil die Forscher die eskimoische Sprache völlig beherrschten, ein halbes Jahr mit den Eingeborenen verlebten und mit ihren hervorragendsten Geisterbeschwörern (Angakork) auf sehr vertrautem Fuße standen [1]). Sitte und Kultus gehen hier ineinander über und bestehen hauptsächlich in einem umständlichen System von Vorschriften, die bei der Geburt eines Kindes, beim Tode und Begräbnis eines Stammesgenossen befolgt werden müssen. Und es wurde den Europäern vorgehalten, daß sie „um der Sicherheit des Stammes willen“ sich ebenfalls nach den Vorschriften richten müßten. Wenn sie es gelegentlich nicht taten, trat sofort als Strafe der Geister ein Unfall ein.

Auf diesem primitiven Standpunkt läßt sich als religiöses Gefühl also nur die Furcht vor dem Zorne der unbekannten Mächte nachweisen. Erst auf einer höheren Stufe der Entwicklung, wo sich bestimmte Vorstellungen von der Natur und der Tätigkeit der Mächte gebildet haben, wo dieselben Götter geworden sind, kann die religiöse Furcht in Ehrfurcht und Verehrung übergehen. Damit stellen sich auch besondere Kulthandlungen ein, wodurch die Götter verehrt werden, und der Kultus scheidet sich von den Gebräuchen des täglichen Lebens aus. Religion und Moral beeinflussen sich

[1]) Rasmussen: Nye Mennesker (Neue Menschen). Kopenhagen 1905. S. 155.

dennoch fortwährend. Entweder können die von einem Reformator geläuterten religiösen Vorstellungen einen ethischen Fortschritt herbeiführen, oder aber es können die ethischen Fortschritte, durch wachsende Einsicht in die Bedingungen des sozialen Lebens erzielt, dazu führen, daß religiöse Annahmen, die sich überlebt haben, aufgegeben werden.

Siebenundachzigstes Kapitel.

Die körperlichen Äußerungen der Bewußtseinserscheinungen.

Die wesentlichsten der einigermaßen genau untersuchten körperlichen Begleiterscheinungen der Affekte sind: die instinktiven und triebhaften Bewegungen, die Veränderungen der Blutzirkulation und der Atmung. Von allen diesen Erscheinungen sind die erstgenannten, die Bewegungen willkürlicher Muskeln, die augenfälligsten, indem sie als Mienen und Gebärden sichtbar sind. Da sie außerdem, jedenfalls insofern sie instinktiven Ursprunges sind, allen Menschen gemeinsam sind, können sie beim Beobachter analoge sympathische Gefühle erregen (S. 699), wodurch er also unmittelbar ein Verständnis für den Gemütszustand der betrachteten Person erhält. Im täglichen Verkehr der Menschen spielen diese Affektäußerungen daher eine wesentliche Rolle; da sie aber zum Teil nur die äußeren Erscheinungsformen der organischen Veränderungen sind, haben die letzteren in theoretischer Beziehung das größte Interesse und müssen zuerst behandelt werden.

Die organischen Veränderungen. Es ist besonders in den letzten 20 Jahren eine sehr große Arbeit darauf eingesetzt worden, diese Erscheinungen empirisch zu bestimmen und ihre Bedeutung für die Gefühls- und Affektzustände zu ermitteln. Der erste Teil dieser Aufgabe ist zwar noch nicht erledigt, wenigstens aber so weit gelöst, daß wir, trotz vielen Widersprüchen von ungeschicktem Experimentieren und ungeeigneten Apparaten herrührend, die fundamentalen Tatsachen als festgestellt ansehen können. Der zweite Teil der Aufgabe ist noch völlig in der Schwebe, indem verschiedene Theorien sich bekämpfen, ohne daß es bis jetzt der einen oder der anderen gelungen ist, den Sieg davonzutragen. Größtenteils rührt diese Unentschiedenheit wohl daher, daß man bei der theoretischen Behandlung der Frage die Affektäußerungen

ganz aus der Verbindung mit den analogen Erscheinungen, die sich bei den unbetonten psychophysiologischen Vorgängen nachweisen lassen, losgerissen hat. Sobald die durchgängige Übereinstimmung der Affektäußerungen mit den Begleiterscheinungen der in emotioneller Beziehung indifferenten psychischen Arbeit berücksichtigt wird, ist damit auch der einen der ringenden Theorien der Boden entzogen. Ich behandle daher hier sämtliche vorliegende Tatsachen von dem gemeinsamen Gesichtspunkt aus.

In der vorhergehenden Darstellung der Affekte ist die Gefühlsbetonung der einzelnen Zustände nur wenig berücksichtigt worden, was hauptsächlich darin begründet ist, daß ihr eine relativ geringe Bedeutung beizumessen ist. Einige Affekte, wie Zärtlichkeit, Sicherheitsgefühl, Freude, sind gewiß entschieden lustbetont, andere sind ebenso sicher unlustbetont (Wut, Furcht, Kummer); in der großen Mehrzahl der Fälle aber wird es oft schwer, die Art der Gefühlsbetonung anzugeben. Neben dem mehr oder weniger hervortretenden emotionellen Element macht sich bei den Affekten dasselbe Verhältnis geltend, das wir schon bei den gefühlsbetonten Empfindungen als eine Färbung des Gefühls bezeichneten. Wir fanden, daß sowohl einfache Lust- als Unlustgefühle auf den verschiedenen Sinnesgebieten Gegensätze wie erregend-deprimierend, beruhigend-beunruhigend, heiter-ernst, erfrischend-betäubend usw. aufweisen, und es wurde jedenfalls als wahrscheinlich nachgewiesen, daß diese Färbungen von den begleitenden Organempfindungen herrühren. Allen erwähnten Gegensätzen ist es gemeinsam, daß sie eine aktivere und eine passivere Modifikation des Gefühls bezeichnen; sie sind eigentlich nur verschiedene Namen eines solchen Gegensatzes. Genau dieselben Gegensätze kommen ohne Rücksicht auf die Gefühlsbetonung bei den Affekten vor; einige sind ausgesprochen *sthenisch*, *exzitierend*, andere dagegen *asthenisch*, *deprimierend*, und diese Unterschiede sind durch die die Gemütsbewegungen begleitenden Muskelbewegungen bestimmt [1]). Dies ist am besten ersichtlich, wo wir diesen Gegensatz: Exzitation—Ruhe, wie wir ihn nennen können, bei demselben Affekt finden, z. B. bei der Freude. Es gibt eine erregte, ausgelassene und eine stille, ruhige Freude, und analoge Modifikationen kommen übrigens auch bei der Trauer vor. Wie der Unterschied zwischen Ex-

[1]) Wundt: Physiol. Psychol., 6. Aufl. Bd. 3, S. 192.

zitation und Ruhe sich unmittelbar durch die äußeren, sichtbaren Affektäußerungen bekundet, ist derselbe auch, wie wir sehen werden, in viel höherem Grade als die Gefühlsbetonung für die inneren Begleiterscheinungen entscheidend.

Fangen wir nun die Untersuchung mit der relativ einfachsten Erscheinung, den *Veränderungen des Atems*, an. Jeder psychophysiologische Vorgang, sei es eine fast unbetonte psychische Arbeit, sei es ein einfacher oder komplizierter Gefühlszustand, kommt nur durch eine Umwandlung der chemischen Energie der Hirnneurone zustande, was eine größere Ausscheidung von Kohlensäure zur Folge hat. Hätte nun die Ausatmungsluft konstant denselben Kohlensäuregehalt, wie es bei größeren Muskelarbeiten der Fall ist, müßte also das Atemvolum der Dissimilation proportional wachsen. Bei psychischen Arbeiten besteht aber kein solches einfaches Verhältnis. Mit einer großen Arbeit geht zwar immer eine Vergrößerung des Atemvolums einher; da das Volumen aber nicht proportional zur Arbeit wächst, nimmt also gleichzeitig der Kohlensäuregehalt der Ausatmungsluft zu. Wenn eine psychische Arbeit dagegen so geringfügig ist, daß der Zuwachs der Kohlensäureausscheidung weniger als etwa 12 % der in völliger Ruhe produzierten Menge beträgt, so scheint das Atemvolum durchaus zufälligen Schwankungen unterworfen zu sein. Bei derselben Person ist es bald größer, bald kleiner als in der Ruhe; der Kohlensäuregehalt schwankt dann im umgekehrten Verhältnis, so daß für dieselbe Leistung die pro Sekunde ausgeschiedene Menge konstant bleibt. Diese Tatsachen haben sich bei allen bisher untersuchten Personen bestätigt [1]).

Ganz analog liegen die Verhältnisse bei einfachen lust- und unlustbetonten Empfindungen. Unserer Gefühlstheorie zufolge entsprechen Unlustgefühle im allgemeinen einer größeren zentralen Energieumwandlung als Lustgefühle (S. 369). In Übereinstimmung hiermit finden wir konstant, daß starke Unlust (Schwefelkohlenstoffgeruch, Chiningeschmack, schmerzhafte Faradisation) immer eine meßbare Vergrößerung der Kohlensäureausscheidung herbeiführt, während die stärksten einfachen Lustgefühle (Schokolade, Pfefferminzkuchen) sowie schwache Unlustgefühle eine kaum meßbare Vergrößerung der Kohlensäuremenge verursachen. Dementsprechend sehen wir, daß mit den starken Unlustgefühlen häufig, wenngleich nicht

[1]) Becker und Olsen, a. a. O.

konstant, eine Vergrößerung des Atemvolums einhergeht, wogegen die Volumveränderungen bei anderen Gefühlszuständen keine Gesetzmäßigkeit aufweisen.

Nach diesen Ergebnissen der exakten Messungen sind die Resultate früherer Untersuchungen leicht verständlich. Zwar hat kein anderer Forscher das Atemvolum gemessen, Zoneff und Meumann haben es aber aus ihren graphischen Aufzeichnungen annähernd berechnen können und kommen zu dem Ergebnis, daß das Atemvolum bei Unlust immer größer, bei Lust kleiner als die Norm ist[1]). Später hat Kelchner unter Meumanns Leitung die Versuche in größerer Ausdehnung fortgesetzt aber keine so regelmäßigen Resultate erhalten; besonders sind sie individuell sehr verschieden[2]). Leider ist das Atemvolum nicht angegeben, so daß eine genaue Vergleichung nicht möglich wird; wenn aber bei einigermaßen konstanter Frequenz die Atmung verflacht wird, so nimmt das Volumen augenscheinlich ab, während es zunimmt, wenn die Atmung vertieft wird. Das erstere ist häufiger bei den Lustgefühlen, das letztere bei den Unlustgefühlen der Fall; die Ausnahmen sind aber nicht selten, und wenn außerdem größere Veränderungen der Frequenz vorkommen, kann nur eine quantitative Bestimmung über das Verhältnis entscheiden. So viel läßt sich aber aus allen diesen Versuchen folgern, daß *sowohl die Form als das Volumen der Atmung mehr zufällig sind*; *aller Wahrscheinlichkeit nach ist nur die pro Sekunde ausgeatmete Kohlensäuremenge eine konstante Funktion des zentralen Vorgangs.*

Genaue Bestimmungen des Atems während der Affektzustände sind bisher systematisch nicht angestellt; dagegen haben wir gelegentlich die durch zufällige Ereignisse verursachten Affekte untersucht und dabei enorme Vergrößerungen der Kohlensäuremenge gefunden. Furcht vor dem Mißlingen eines Versuches hatte bei mir den Erfolg, daß 8 Min. hindurch ein Zuwachs von 2 cm^3 Kohlensäure pro Sekunde gemessen wurde. Der Zorn über die Ungeschicklichkeit eines Assistenten war trotz dem gleichzeitig stattfindenden Auswendiglernen während 30 Min. merklich, wodurch die Kohlensäuremenge durchschnittlich um 0,57 cm^3 pro Sekunde vergrößert wurde. Ähnliche Fälle sind auch bei anderen Versuchspersonen vorgekommen. Eine geringe Unannehmlichkeit, die nicht sehr

---

[1]) Wundts Philos. Stud. Bd. 18, S. 60.
[2]) Archiv für Psychol. Bd. 5, S. 52.

unlustbetont war, aber eine große Unruhe verursachte, weil ihr nicht abgeholfen werden konnte, führte bei der Versuchsperson *S.N.* einen Zuwachs von 0,30 cm^3 Kohlensäure pro Sek. herbei, was ca. 20 Min. dauerte. Aus den umfangsreichen Affektuntersuchungen Rehwoldts geht es ferner deutlich hervor, daß die Unterschiede der Exzitation und der Ruhe bei den Affekten viel bedeutungsvoller als die emotionellen Differenzen sind. Während ruhige Lust- und Unlustgefühle sich kaum merklich unterscheiden, zeigen im Gegensatz hierzu die exzitierten Lust- oder Unlustaffekte oft eine äußerst starke Vergrößerung der Atemtiefe, so daß das Atemvolum sich zweifellos weit über die Norm erhebt[1]). Da die exzitierten Gemütsbewegungen aber, wie gesagt, stets mit starken motorischen Tendenzen und meistens wohl auch mit einem lebhafteren Vorstellungslauf verbunden sind, ist das größere Atemvolum in diesen Fällen auch nur der einfache Ausdruck des lebhafteren Stoffwechsels des Organismus. Wir finden also im allgemeinen, daß *die Veränderungen der Atmung während der verschiedenen Gefühlszustände ebenso wie bei den indifferenten psychischen Arbeiten einfach den Veränderungen des Stoffumsatzes entsprechen.*

Die erhebliche Kohlensäureausscheidung während starker Gemütsbewegungen rührt zweifelsohne nicht ausschließlich von der Gehirnarbeit her, weil das Gehirn zu klein ist, um Kohlensäuremengen zu bilden, die bis zur Hälfte der normalen Produktion des gesamten Organismus anwachsen können. Die Annahme ist daher nicht unwahrscheinlich, daß die die Gemütsbewegungen begleitenden Muskelspannungen, selbst wenn keine Bewegungen stattfinden, einen wesentlichen Teil dieser Kohlensäure produzieren. Durch direkte Versuche haben wir uns davon überzeugt, daß wenig intensive Spannungen größerer Muskelgruppen tatsächlich eine bedeutende Steigerung der Kohlensäureausscheidung herbeiführen. Wenn eine ruhig sitzende Versuchsperson eine halbe Stunde hindurch abwechselnd den rechten Arm, den linken Arm, das rechte Bein und das linke Bein je 40 Sek. wagerecht ausgestreckt hält, so wird die Kohlensäureausscheidung durchschnittlich um 0,45 cm^3 pro Sekunde vergrößert. Von einer Ermüdung ist bei diesem Versuch keine Rede, weil jedes Glied 2 Min. ruht, während die anderen Glieder abwechselnd ausgestreckt und die Spannungen überhaupt nur gering sind. Nichtsdestoweniger ist

[1]) Wundts Psychol. Stud. Bd. 7, 1911. S. 165 u. f.

die produzierte Kohlensäuremenge im Vergleich zu denen der geistigen Arbeiten keineswegs klein. Es ist daher auch oft, so von Speck (vgl. S. 141) und vielen anderen, die Vermutung ausgesprochen worden, daß die bei geistigen Arbeiten gefundene Vermehrung des Stoffwechsels einfach von unvermeidlichen Muskelspannungen herrühre. Bei den oben (S. 535) erwähnten Versuchen mit geübten Versuchspersonen war aber jede Gemütsbewegung ausgeschlossen, und die Muskelspannungen, die die Lenkung der Aufmerksamkeit begleiten, sind zwar recht intensiv, kommen aber unter normalen Verhältnissen nur in den Kopfmuskeln vor (S. 527). Solche kleinen Muskelgruppen können aber, selbst bei intensiver Spannung, kaum meßbare Kohlensäuremengen bilden. Wenn eine Versuchsperson eine halbe Stunde hindurch abwechselnd mit der rechten und der linken Hand auf einen Dynamometer einen konstanten Druck von 2—4 kg ausübt, findet in den ersten 10 Min. keine Vergrößerung des Stoffwechsels statt; dann wächst aber nach und nach die ausgeatmete Kohlensäuremenge, so daß sie für die ganze Versuchszeit durchschnittlich 0,06 bis 0,18 cm^3 pro Sekunde ausmachen kann. Die bei diesem Versuche in der Hand und im Unterarme zu beobachtenden Muskelspannungen sind indes viel intensiver als die Aufmerksamkeitsspannungen leichterer psychischer Arbeiten, und wir können daher sicher feststellen, daß *die die Aufmerksamkeitsanspannung begleitenden Muskelspannungen keine meßbare Vergrößerung des Stoffwechsels verursachen.*

Wenn jeder psychophysiologische Vorgang eine größere Kohlensäureproduktion verursacht, so steht zu erwarten, daß die *Blutzufuhr zum Gehirn* während des Prozesses größer sein wird, weil nur dadurch Gleichgewicht des Stoffwechsels hergestellt werden kann. Wir finden sonst überall, daß ein tätiges Organ eine reichlichere Blutversorgung als das untätige erhält, und dürfen dasselbe beim Gehirn annehmen. Da das Gehirn aber in den unnachgiebigen Schädel eingeschlossen ist, und da die Gehirnsubstanz sowie die verschiedenen Flüssigkeiten (Blut, Lymphe) inkompressibel sind, muß die Summe der Flüssigkeitsmengen im Gehirn konstant sein. Da ferner das spezifische Gewicht der verschiedenen Flüssigkeiten nur wenig verschieden ist, wird das Hirngewicht durch eine reichlichere Blutzufuhr nicht merklich vergrößert, weil das Blut eine entsprechende Menge Lymphflüssigkeit verdrängen muß. Mittels der Mosso'schen Wage ist dies zur Genüge dar-

getan[1]). Liegt ein Mensch in körperlicher und seelischer Ruhe auf einem horizontalen Wagebalkens, so wird bei eintretender geistiger Tätigkeit stets der Arm des Wagebalkens sinken, auf welchem sich die Bauchorgane befinden. Ein größeres Hirngewicht ist also nie nachzuweisen; deshalb kann aber, wie gesagt, sehr wohl auf Kosten der Lymphe mehr Blut im Gehirn vorhanden sein. Und für die Ernährung des Organs wird wahrscheinlich eine größere Geschwindigkeit des Blutstromes viel wesentlicher als eine größere Blutmenge sein. Daß solche Veränderungen in der Tat stattfinden, geht zweifellos aus anderen Versuchen hervor.

Betrachten wir nun zuvörderst die in emotioneller Beziehung einigermaßen indifferenten psychischen Arbeiten. An Personen, die einen Schädeldefekt hatten aber seelisch normal erschienen, hat man feststellen können, daß sowohl das Hirnvolum als die Höhe der Gehirnpulse während der psychischen Arbeit größer werden[2]). Hiermit stimmt es ferner überein, daß die Verspätung des Carotispulses während der Arbeit größer als in der Ruhe wird, ohne daß sich eine gleichzeitige Abnahme des Blutdruckes nachweisen läßt. Wenn man nämlich gleichzeitig den Herzstoß und den Puls irgendeines Gefäßgebietes aufzeichnet, tritt der Pulsschlag immer später als der Herzstoß ein. Diese Verspätung des Pulses wird um so kürzer, je höher der Blutdruck ist, und je mehr die Gefäßwände von den Vasokonstriktoren kontrahiert worden sind; umgekehrt wird sie um so größer, je niedriger der Blutdruck und je schlaffer die Gefäßwände sind. Bei unverändertem Blutdruck kann eine größere Pulsverspätung also nur von einer Erweiterung der Gefäße herrühren, was eben an der Carotis während psychischer Arbeit der Fall ist[3]).

Es ist ferner leicht zu konstatieren, daß jede anstrengende psychische Arbeit von längerer Dauer eine größere Frequenz des Herzschlages verursacht[4]). Je schneller aber das Herz arbeitet, um so mehr Blut wird, alles übrige gleich, aus dem venösen in das arterielle System hineingepreßt. Mit wachsender

---

[1]) Weber: Der Einfluß psych. Vorgänge auf den Körper. Berlin 1910. S. 225 u. f.

[2]) Mosso: Kreislauf des Blutes im menschl. Gehirn. Leipzig 1881. S. 67. — Berger: Die körperl. Äußerungen psych. Zustände. I. Teil. Jena 1904. S. 77 u. f.

[3]) Lehmann: Psychodynamik. S. 456.

[4]) Lehmann: Körperliche Äußerungen psych. Zustände. I. Teil. S. 69.

Frequenz nimmt nun im allgemeinen der Umfang der Herzkontraktionen ab, so daß jede einzelne Kontraktion eine relativ geringere Menge in Bewegung setzt; in einer gegebenen Zeit wird aber dennoch die durch das Herz hindurchströmende Blutmenge größer: die Geschwindigkeit des Blutstromes wächst unter normalen Verhältnissen mit der Frequenz des Herzschlages. Die dauernde psychische Arbeit führt also sowohl eine größere Blutmenge des Gehirns als eine größere Geschwindigkeit des Blutstromes herbei, was eben zu erwarten stand.

Es kommen indes bei psychischer Arbeit andere vasomotorische Veränderungen vor, deren Bedeutung nichts weniger als klar ist. Die oben erwähnten Versuche mit der Mosso'schen Wage zeigen, daß das Blut während der Arbeit sich besonders in den Bauchorganen sammelt, was sich auch mittels des Weber'schen Darmplethysmographen bestätigen läßt[1]. Gleichzeitig kontrahieren sich die Gefäße der Körperoberfläche; die Glieder nehmen an Volumen ab. Völlig konstant ist diese Veränderung jedoch nur am Arme nachgewiesen, indem ich in einigen Fällen auch eine Erweiterung der Gefäße des Fußes gefunden habe[2]. Diese Verschiebungen des Blutes von der Oberfläche in das Körperinnere hinein stehen, soviel wir vorläufig wissen, in keiner notwendigen Beziehung zu den Veränderungen, die die Blutversorgung des Gehirns regulieren; es sind Begleiterscheinungen, die aller Wahrscheinlichkeit nach einen anderen Zweck haben. Auf diesen Punkt kommen wir später zurück.

Obgleich wir bei einfachen lustbetonten Empfindungen die Vergrößerung der Kohlensäureproduktion wegen ihrer Geringfügigkeit nicht immer messen können, findet natürlich dennoch eine Dissimilation statt, und in Übereinstimmung hiermit geht auch eine Erweiterung der Hirngefäße mit diesen Zuständen einher[3]. Der Herzschlag wird aber bald beschleunigt, bald verlangsamt; das erstere scheint besonders bei Geschmacksreizen[4], das letztere bei den meisten anderen Sinnesreizen vorzukommen. Die vasomotorischen Veränderungen sind denjenigen der psychischen Arbeit gerade entgegengesetzt: die Gefäße der Körperoberfläche erweitern sich, während die der

[1]) Weber, a. a. O. S. 115.
[2]) Psychodynamik, S. 452.
[3]) Berger, a. a. O. S. 134. Lehmann: Psychodynamik, S. 480.
[4]) Kelchner, Archiv für Psych., Bd. 5, S. 39.

Bauchorgane sich kontrahieren[1]). Als Folge hiervon wird das Volumen der Glieder größer. Ein analoges Verhalten findet sich nur, wenn willkürliche Bewegungen ausgeführt oder wenigstens intendiert werden[2]).

Bei einfachen starken Unlustgefühlen wäre, der großen Kohlensäureproduktion entsprechend, eine erhebliche Erweiterung der Hirngefäße zu erwarten; tatsächlich findet man aber hier immer Kontraktion der Gefäße[3]). Dagegen ist die Frequenz des Herzschlages fast immer stark beschleunigt. Die vasomotorischen Veränderungen sind dieselben wie bei psychischer Arbeit: Kontraktion der Gefäße der Körperoberfläche und Stauung des Blutes in den Bauchorganen[4]).

Sonderbar erscheint, wie gesagt, bei den Unlustgefühlen die Kontraktion der Hirngefäße. Da aber, unserer Gefühlstheorie zufolge, das Unlustgefühl davon herrührt, daß die Assimilation der Dissimilation das Gleichgewicht nicht halten kann ($\frac{A}{D} < 1$), so würde bei Fortsetzung der Tätigkeit eine Schädigung der arbeitenden Neurone erfolgen. Die Kontraktion der Arterien ist daher zweifellos als eine Schutzvorrichtung aufzufassen, wodurch den Biogenen weniger Sauerstoff zugeführt und daher ihre Zersetzbarkeit herabgesetzt wird[5]). Hierdurch scheint zwei wesentliche Vorteile erreicht zu werden. Erstens nimmt die Dissimilation in viel stärkerem Verhältnis als die Assimilation ab, wodurch der Zustand sich also dem Gleichgewicht nähert und die arbeitenden Neurone mithin einer Erschöpfung weit weniger ausgesetzt sind. Zweitens wird der Biotonus $\frac{A}{D} < 1$ und somit auch die psychische Folge dieses Zustandes, die Unlust, länger erhalten, was nicht ohne Bedeutung ist. Die Unlust wird nämlich stets ein Streben herbeiführen, das die Aufhebung des Zustandes durch die Beseitigung seiner Ursache bezweckt. Es ist also sehr zweckmäßig, daß die Unlust so lange besteht, bis das Ziel erreicht ist.

Diese beiden Folgen der verminderten Zersetzbarkeit der Neurone gehen als einfache Konsequenzen unserer früheren theoretischen Betrachtungen über die Schwankungen der Biotonus hervor (S. 84).

---

[1]) Weber, a. a. O. S. 132.
[2]) Weber, a. a. O. S. 187.
[3]) Berger, a. a. O. S. 110. Lehmann, a. a. O. S. 484 u. f.
[4]) Weber. a. a. O. S. 132.
[5]) Berger, a. a. O. S. 178.

Die Differenz zwischen der in der Zeit T dissimilierten Stoffmenge D_T und der wieder aufgebauten Menge A_T ist:

$$D_T - A_T = c \cdot K \cdot (1 - c)^T \cdot (1 - a)^T \quad . \; . \; . \; . \; (\text{Gl. } 16).$$

Die Größen c, K und a sind hier für einen gegebenen Reizwert Konstanten, und c ist ein echter Bruch, der die Zersetzbarkeit der Biogene ausdrückt. Wenn $D_T > A_T$ ist, wird das Gleichgewicht zwar mit wachsendem T wieder erreicht, indem schließlich $(1 - c)^T = 0$ wird; dies wird aber um so länger dauern, je kleiner c ist. Hiermit ist der zweite der oben angeführten Sätze dargetan. Da ferner $1 - c$ ein echter Bruch ist, kann $(1 - c)^T$ den Wert 1 nie überschreiten. Haben nun z. B. c und T solche Werte, daß $(1 - c)^T = \frac{1}{n}$, so kann diese Größe also, wie klein c denn auch wird, beim konstanten T nur bis zum n-fachen anwachsen, während c einen beliebigen kleinen Wert annehmen kann. $D_T - A_T$ (Gl. 16) muß daher kleiner werden, wenn c fortwährend abnimmt, weil $(1 - c)^T$ in keinem so starken Verhältnis anwachsen kann oder mit andern Worten: Die Dissimilation D_T nimmt schneller als die Assimilation A_T ab.

Gehen wir nun davon aus, daß die Kontraktion der Hirngefäße reflektorisch eintritt, wenn der Biotonus der arbeitenden Neurone abnimmt, so wird also die Kontraktion erst einige Zeit nach dem Anfang der Reizung stattfinden können, indem die Verminderung des Biotonus die Tätigkeit der Neurone zu gefährden anfängt. Dies scheint denn tatsächlich auch der Fall zu sein. In allen Gehirnkurven, wo eine Abnahme der Pulshöhe als Folge eines unlusterregenden Reizes ersichtlich ist, tritt diese Abnahme erst nach und nach ein[1]). Beispielsweise ist hier eine der Berger'schen Kurven reproduziert, wo die Kontraktion wegen der plötzlichen, starken Reizung relativ schnell eintritt. Die Kurve A der Fig. 79 stellt die Atmung dar, B ist die Volumkurve des Armes und C die des Gehirns. Die Marke ⌴ gibt die Reizung, einen tiefen Nadelstich in den rechten Oberarm, an. Die drei ersten Pulse zeigen eine kaum merkliche Abnahme der Höhe; darauf sinkt die Pulshöhe schnell.

Ohne besondere Berechnungen über die in diesem Falle möglichen Schwankungen des Biotonus auszuführen, nur auf Grundlage recht allgemeiner Betrachtungen kommt Weber zu dem Resultat, daß eine Abnahme des Biotonus ganz unzweckmäßig sei. Er nimmt daher an, daß dies gar nicht stattfinde, sondern daß ein zu starker Reiz, ehe die Erregung sich in die Hirnrinde fortgepflanzt habe, schon von den subkortikalen Zentren aus eine Kontraktion der Hirngefäße verursache. Er übersieht hierbei gänzlich die Tatsache, daß die Kontraktion erst mehrere Sekunden nach der Empfindung anfängt, was seiner Annahme

[1]) Berger, a. a. O. Atlas, Kurve 20 und 22.

widerspricht. Und ferner zeigen unsere obigen Berechnungen, daß die Abnahme des Biotonus durchaus nicht so unzweckmäßig zu sein braucht, wie es nach den Reflexionen Webers der Fall sein müßte. Sie ist sogar sehr zweckmäßig, wenn unsere Berechnungen bloß in der Hauptsache den tatsächlichen Verhältnissen entsprechen.

Die Ergebnisse der Untersuchungen über die Blutversorgung des Gehirns können wir also folgendermaßen zusammenfassen: *Durch die vasomotorischen Veränderungen der Hirngefäße und die Variation der Frequenz des Herzschlages, die die psychophysiologischen Vorgänge begleiten, wird entweder das Gehirn mit Blut reichlicher versorgt, der Größe der Leistung entsprechend, oder aber die Zersetzbarkeit der Biogene herabgesetzt, so daß unter allen Umständen die Leistungsfähigkeit der Neurone erhalten wird.*

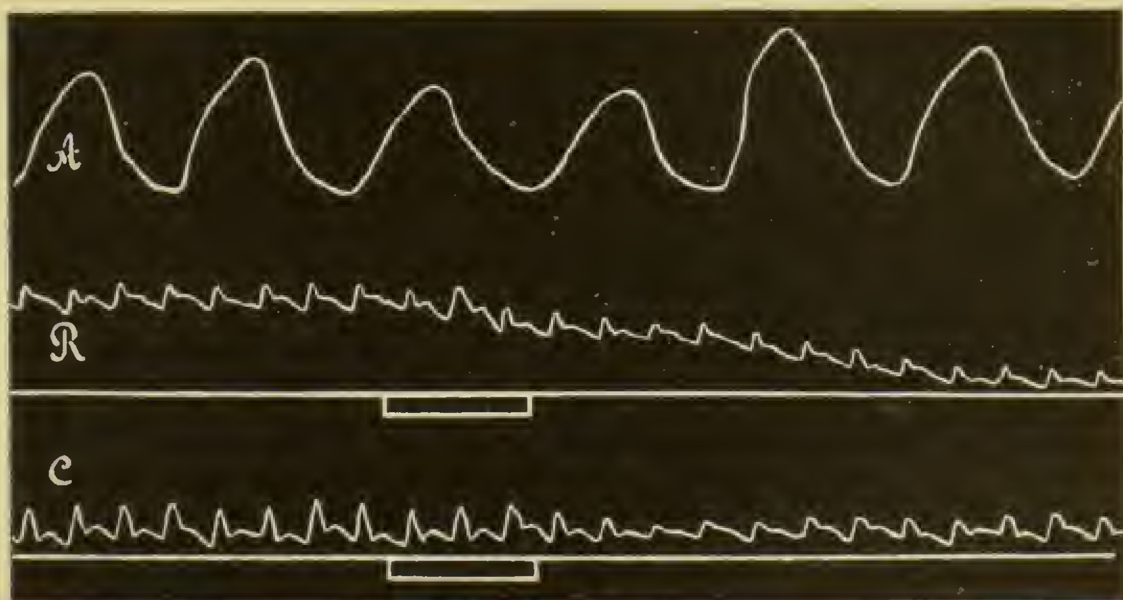


Fig. 79. Pulsveränderungen bei körperlichem Schmerz (nach Berger).

Es erübrigt nur noch, die Bedeutung der vasomotorischen Veränderungen außerhalb des Gehirns ins reine zu bringen. Wir sahen oben, wie das Blut bei psychischer Arbeit und einfachen Unlustgefühlen im Körperinneren sich staut, indem die Gefäße der Oberfläche sich kontrahieren und die der Bauchorgane sich erweitern. Bei einfachen Lustgefühlen und willkürlichen Bewegungen verhält es sich gerade umgekehrt. Die Zweckmäßigkeit dieser Zirkulationsveränderungen hat Weber durch die folgende Betrachtung recht wahrscheinlich gemacht[1]). Bei der psychischen Arbeit ist die Aufmerksamkeit hauptsächlich auf Vorstellungen gerichtet und von den Sinnes-

[1]) A. a. O. S. 372 u. f.

organen abgelenkt, und jeder äußere Reiz würde daher als Störung der Tätigkeit wirken. Die durch die vasomotorischen Veränderungen verursachte Blutarmut der Haut setzt aber deren Empfänglichkeit für äußere Reize herab, und Störungen sind daher so weit möglich ausgeschlossen. Bei lustbetonten Empfindungen ist umgekehrt die Aufmerksamkeit auf die äußeren Reize gelenkt, und es liegt daher nahe, anzunehmen, daß die Gefäßerweiterung in der Körperoberfläche eben darauf abzielt, durch eine erhöhte Blutversorgung die Reizempfänglichkeit zu steigern. Für die Richtigkeit dieser Annahme spricht die mittels eines feinen Hautthermometers leicht nachzuweisende Tatsache, daß die Lenkung der Aufmerksamkeit auf irgendeinen Teil der Haut eine Erhöhung der Temperatur (um 0,02—0,06 ° C) an der betreffenden Stelle verursacht[1]). Es ist nicht unwahrscheinlich, daß eine allgemeine Vergrößerung der Blutzufuhr zur Haut hierzu beiträgt; nebenbei sind übrigens auch lokale vasomotorische Veränderungen unschwer zu konstatieren. Die Bedeutung der Zirkulationsveränderungen für die Muskelarbeit wurde schon früher erörtert (S. 150).

Größere Schwierigkeiten bereiten indes die unlustbetonten Empfindungen. Die Aufmerksamkeit ist in diesem Falle wie bei den lustbetonten auf die äußeren Reize gelenkt; nichtsdestoweniger tritt hier Gefäßkontraktion in der Körperoberfläche ein. Man könnte zwar sagen, daß wir die Aufmerksamkeit von den Unlustgefühlen abzulenken suchen, um der Unlust zu entgehen, und dann annehmen, daß dieses Streben die Kontraktion auslöse. Es gelingt aber nur in seltenen Fällen, bei sehr schwacher Unlust, die Aufmerksamkeit völlig abzulenken, und es ist kaum anzunehmen, daß der bloße Wunsch eine so umfassende Veranstaltung zur Herabsetzung der Reizempfänglichkeit bewirken könne. Es liegt daher näher, diese Gefäßverengerung wie die analoge der Hirngefäße als eine Schutzvorrichtung aufzufassen, wodurch die Wirkung eines gar zu starken Reizes auf den Organismus schon am Sinnesorgan herabgesetzt wird. Sicher ist jedenfalls, daß die Reizempfänglichkeit vermindert wird; ob dies aber reflektorisch vom Sinnesorgan aus, oder erst nachdem die Empfindung zustande gekommen ist, stattfindet, kann schwierig zu entscheiden sein. Indem wir diese Frage dahingestellt lassen, können wir fest-

---

[1]) Hospitalstidende, Kopenhagen 1890, S. 49. Lehmann: Die Hypnose Leipzig 1890. S. 125.

stellen: *Die die psychophysiologischen Vorgänge begleitenden vasomotorischen Veränderungen außerhalb des Gehirns bezwecken, entweder die möglichst große Wirkung einer Aufmerksamkeitskonzentration in bestimmter Richtung zu sichern oder eine übermäßig starke Reizung zu verhindern.*

Die Ausdrucksbewegungen. Im vorhergehenden war nur von den indifferenten psychischen Arbeiten und den einfachen Gefühlen die Rede; es kann aber keinem Zweifel unterliegen, daß das eben Angeführte auch für die komplizierteren Zustände, die Gemütsbewegungen, Gültigkeit hat. Die wenigen Affekte, die gelegentlich näher untersucht worden sind, bieten alle vorher erwähnten organischen Veränderungen dar, die dem komplizierten Gefühlsverlauf entsprechend fortwährend variieren. Und wir haben gar keinen Grund, anzunehmen, daß diesen Störungen der vegetativen Funktionen, wenn sie als Begleiterscheinungen der Affekte auftreten, eine andere Bedeutung zugeschrieben werden muß, als wenn sie relativ einfachere Vorgänge begleiten. Wir haben wenigstens gesehen, daß die Kohlensäureproduktion während der Gemütsbewegungen sehr groß sein kann, und es läßt sich kaum bezweifeln, daß das Gehirn dementsprechend seine Blutversorgung so weit möglich reguliert.

Bei den Affekten kommen nun, neben den Veränderungen der vegetativen Funktionen, außerdem Bewegungen willkürlicher Muskeln vor, die man als Ausdrucksbewegungen bezeichnet. Sie können sehr verschiedenen Ursprunges sein. Am einfachsten liegen die Verhältnisse beim Erschrecken, wo die von einem plötzlichen Reiz verursachte Erregung sich in die motorischen Zentren fortpflanzt und eine Kontraktion willkürlicher Muskeln auslöst; der Körper zuckt zusammen. Solche zentralen Reflexe kommen ebenfalls bei der Überraschung vor und bilden somit, dem früher (S. 691) Gesagten zufolge, die erste Phase zahlreicher Affekte. Im Gegensatz zu diesen oft recht zufälligen Zuckungen stehen die instinktiven Bewegungen, die die Instinktaffekte charakterisieren. Selbst wenn diese Bewegungen während des Affektes nicht zustande kommen, verleihen sie der Körperhaltung ein dem betreffenden Affekt eigentümliches Gepräge [1]. Die geballten Fäuste, der vorgestreckte Kopf, die ganze herausfordernde Haltung ist für den Zornigen ebenso charakteristisch wie für den Furchtsamen

---

[1] Darwin: Ausdruck der Gemütsbewegungen. Stuttgart 1884.

der gesenkte Kopf und der zusammengesunkene Körper, der in ein Mäuseloch kriechen möchte, wenn es nur möglich wäre. Im Affekt der Zärtlichkeit besteht die Tendenz zur schützenden Umarmung, die, ohne wirklich ausgeführt zu werden, schon aus den Armbewegungen ersichtlich ist, während das Sicherheitsgefühl nur die einfachen Berührungen des Scharinstinktes auslösen. Ebenso charakteristisch sind die Bewegungstendenzen der Verwunderung, des Abscheues und des Sexualgefühls.

Es sind indes nicht nur die Instinktaffekte, die sich durch bestimmte Bewegungen äußern, sondern bei fast allen Affekten können motorische Tendenzen nachgewiesen werden, die entweder als Triebbewegungen oder als Folgen der Zirkulationsveränderungen aufzufassen sind. Freude und Kummer z. B. äußern sich durch Körperhaltungen, die sich entgegengesetzt sind, und dasselbe gilt vom gehobenen und herabgestimmten Selbstgefühle; obwohl aber die Lust bzw. Unlust in diesen beiden Gegensätzen vorherrscht, wird man wohl selten ihre Äußerungen mißdeuten. Mit dem gehobenen Selbstgefühl, aus der Anerkennung seitens der Mitmenschen hervorgegangen, ist einfach der Trieb verbunden, sich zur Schau zu stellen, sich breit zu machen, um bemerkt zu werden, was der Person sofort angesehen werden kann. Umgekehrt sucht der sich Schämende sich unsichtbar zu machen, wenigstens sein Gesicht zu verbergen. Die lebhaften Bewegungen der Freudigen verlangen aber durchaus nicht, bemerkt zu werden, ebensowenig wie das Zusammensinken der Trauernden mit der Tendenz, sich zu verbergen, verbunden ist. In diesen letzteren Affekten liegen gewiß keine bestimmten Triebbewegungen vor; es handelt sich einfach um sekundäre Wirkungen der Zirkulationsverhältnisse. Da die Freude von Erweiterung sowohl der Hirn- als Muskelgefäße begleitet ist, sind die motorischen Zentren sowie die Muskeln besonders leicht erregbar, und die von den psychophysiologischen Vorgängen ausgehenden Bahnungen können daher lebhafte Bewegungen auslösen (S. 392). Im Kummer sind die Zirkulationsveränderungen denen der Freude entgegengesetzt, woraus eine allgemeine Mattheit und Schlaffheit resultiert, die sich als Unregsamkeit äußert.

Noch ausdrucksvoller als die Körperhaltung und die Gebärden sind die Mienen des Gesichts, die wohl größtenteils instinktive oder triebhafte Bewegungen sind. Eine Beschreibung dieser Äußerungen der einzelnen Affekte ist kaum ohne eingehende anatomische Angaben möglich; die Gesichtsausdrücke

sind aber aus dem täglichen Leben so bekannt, daß wir hierbei nicht zu verweilen brauchen. Hervorzuheben ist nur, daß Triebbewegungen, die dem Zwecke dienen, bestimmte lustbetonte Empfindungen festzuhalten, unlustbetonte zu beseitigen, als Ausdrucksbewegungen verschiedener lust- und unlustbetonter Affekte wiederkehren. Es sind besonders die Begleiterscheinungen der Geruchs- und Geschmacksempfindungen, die sich auf diese Weise geltend machen. „Die süße Hoffnung“ und „der bittere Schmerz“ sind nicht leere Redensarten; die Mienen sind tatsächlich den Gemütsbewegungen und den betreffenden Geschmacksempfindungen gemeinsam [1]). Wahrscheinlich ist ihnen außerdem der gesamte körperliche Zustand gemeinsam, sonst würde es kaum verständlich sein, warum im Affekt eine Ausdrucksbewegung reproduziert wird, die hier gar keinen Sinn hat. Ein solcher Assoziationsprozeß findet jedenfalls in den Fällen statt, wo rein individuelle Ausdrucksbewegungen entstehen. Preyer erzählt von zwei Säuglingen, die an juckendem Ekzem am Kopfe litten, daß sie, lange nachdem das Ekzem sich verloren hatte, noch kratzende Bewegungen ausführten, sobald ihnen etwas Unangenehmes entgegentrat [2]).

Theorie der Affekte und der Stimmungen. Sowohl die landläufige als die wissenschaftliche Psychologie sahen es bis vor 30 Jahren als eine abgemachte Sache an, daß die Affektäußerungen wirklich Äußerungen, d. h. Folgen der Gemütsbewegungen, wären. James [3]) und Lange [4]) stellten dann die Theorie auf, daß es sich eben umgekehrt verhielte: die Gemütsbewegung wäre nur die Empfindung der durch die äußeren Reize verursachten körperlichen Veränderungen, denn wenn die körperlichen Äußerungen beseitigt würden, gäbe es überhaupt keine Gemütsbewegung mehr. Die große Arbeit, die seitdem darauf eingesetzt worden ist, erstens die körperlichen Begleiterscheinungen verschiedener psychischer Zustände und zweitens das Kausalverhältnis zwischen den peripheren und den zentralen Vorgängen empirisch festzustellen, hat zweifellos die Unhaltbarkeit der James-Lange'schen Theorie dargetan. Erstens ist die Theorie unmöglich, undurchführbar, was von Lange, wenn auch nicht ausdrücklich, zugegeben worden ist,

---

1) Wundt: Phys. Psychol. 2. Aufl. Bd. 2, S. 423.
2) Seele des Kindes, 1884. S. 166.
3) What is an emotion. Mind 1884.
4) Om Sindsbevägelser. Kopenhagen 1885. Über Gemütsbewegungen. Leipzig 1887.

zweitens entspricht sie den Tatsachen nicht, und drittens können die Erscheinungen, die dem Anscheine nach für die Theorie sprechen, noch besser nach der gewöhnlichen Auffassung erklärt werden.

1. Wenn ein äußerer Reiz reflektorisch Veränderungen der verschiedenen vegetativen Vorgänge hervorgerufen hat, ist es leicht verständlich, daß die hierdurch veränderten Organempfindungen einen vom Normalen recht abweichenden Bewußtseinszustand hervorbringen werden. Die Entstehung der Gemütsbewegung aus den körperlichen Veränderungen bereitet somit keine Schwierigkeiten. Völlig unlöslich ist aber das Rätsel, warum ein Reiz die verschiedenen Reflexe auslöst, während ein anderer, vom ersteren nur wenig verschiedener uns durchaus indifferent bleiben läßt. Sagt man einem jungen Manne: „Deine Verlobte ist plötzlich gestorben“, wird er gewiß einem heftigen Affekt unterliegen, während der Satz: „Zwei mal zwei macht vier“, der ebenfalls aus fünf Worten besteht, kaum eine ähnliche Wirkung ausüben wird. Aber warum? Wie können die subkortikalen Zentren in jedem gegebenen Falle entscheiden, ob eine passende Veranlassung zu vasomotorischen Reflexen vorliege, so daß uns die traurige Mitteilung nicht gelegentlich kalt läßt, während Gemeinplätze die heftigsten Affekte veranlassen? Hierauf antwortet Lange mit einer umständlichen Erklärung, die einfach darauf hinausläuft, daß eine Empfindung oder Wahrnehmung nur dann einen Affekt verursacht, wenn sie verschiedene unangenehme Vorstellungen reproduziert, wodurch dann die vasomotorischen Zentren erregt werden [1]). Dies heißt ja aber mit anderen Worten nur, daß die Theorie aufgegeben wird, daß die Gemütsbewegung als zentraler Vorgang schon da sein muß, bevor die körperlichen Veränderungen zustande kommen können. Der Tod der Geliebten löst erst dann die körperliche Reaktion aus, wenn die Bedeutung, die Tragweite dieses Verlustes aufgefaßt worden ist, und das Einmaleins erregt keinen Affekt, weil es solche Vorstellungen nicht reproduziert. Wenn aber sehr unangenehme Erinnerungen damit verbunden sind, kann auch der anscheinend indifferenteste Satz eine Gemütsbewegung hervorrufen.

2. Wäre die Theorie gültig, könnte die Gemütsbewegung, der psychische Zustand, erst dann vorliegen, wenn die körperlichen Veränderungen eingetreten wären. Diese Reaktionen kommen aber auch bei völlig indifferenten psychischen Tätigkeiten vor, wo sie einfach den Zweck haben, die Leistungsfähigkeit des Gehirns zu erhalten, und nichts deutet darauf hin, daß es bei den Affekten sich anders verhält. Wenn die körperlichen Reaktionen aber, vom Zustand des Zentralorgans abhängig, durch denselben bestimmt sind, kann die Empfindung dieser Veränderungen für die Gemütsbewegung nur nebensächlich sein. Wie aus der Fig. 79 ersichtlich, tritt die Reaktion in der Tat manchmal erst einige Zeit nach dem Anfang der Reizung ein, obwohl ein Nadelstich sofort schmerzt. Zuweilen kommt es auch vor, daß eine Reaktion gleichzeitig mit der Reizung eintritt;

[1]) Über Gemütsbewegungen, S. 65 u. f.

dann handelt es sich aber fast immer um eine Überraschung oder ein Erschrecken, womit der Zustand anfängt. Nie hat man dagegen bei solchen Versuchen nachweisen können, daß die Gemütsbewegung erst mehrere Sekunden nach der Reizung merklich wurde, was nach der James-Lange'schen Theorie zu erwarten wäre. Die vasomotorischen Reflexe erfordern eine solche Zeit, und die Veränderungen der Atmung können wohl auch erst nach einem Atemzug empfunden werden.

3. Als Stütze der Theorie führt Lange die Tatsache an, daß verschiedene Giftstoffe (Alkohol, Haschisch, Muscarin, Brechweinstein) Affekte hervorrufen können. Eine solche Vergiftung reproduziert keine Vorstellungen, hat aber einen sehr kräftigen Einfluß auf das vasomotorische Nervensystem. Wenn es sich beweisen ließe, daß das Gift nur die Vasomotoren beeinflußte, würde gewiß hiermit dargetan sein, daß ein bestimmter körperlicher Zustand ausreicht, um eine Gemütsbewegung hervorzurufen. Es ist aber sehr wahrscheinlich, daß das Gift ebenfalls auf die höheren Gehirnzentren einwirkt; und wenn hierdurch eine merkliche Veränderung des Ich zustande gebracht wird, so ist die Gemütsbewegung also schon durch die zentralen Störungen gegeben. Solange diese direkte, zentrale Wirkung nicht ausgeschlossen ist, beweisen die Vergiftungen nichts.

Auf analoge Weise sind die mit Hysterikern angestellten Versuche zu beurteilen. In der Hypnose kann man einer solchen Person Unempfindlichkeit der Haut und der Bauchorgane suggerieren. Versucht man es darauf, eine Gemütsbewegung hervorzurufen, gelingt es nicht; die Versuchsperson hat keine Organempfindungen, und dem Anschein nach spricht das Fehlen des Affektes also für den peripheren Ursprung der Gemütsbewegung. Sollier, der diese Experimente anstellte, hebt aber hervor, daß die Suggestion eine tiefgehende Veränderung des Zentralorgans verursacht, wodurch das empirische Ich einfach aufgehoben ist; die Versuchsperson merkt kaum ihre Existenz. Die normale Ursache einer Gemütsbewegung ruft daher diesen Zustand nicht hervor, weil Veränderungen des nicht existierenden Ich natürlich auch nicht merklich sind, und demgemäß treten die organischen Reaktionen überhaupt nicht ein. Sie sind einfach nur die Folgen der zentralen Veränderungen [1]).

Obwohl wir also den organischen Begleiterscheinungen die Bedeutung nicht beimessen können, die ihnen die James-Lange'sche Theorie erteilt, können die Störungen der vegetativen Vorgänge natürlich nicht umhin, den Bewußtseinszustand zu beeinflussen. Fangen die Pulse an, heftig und unregelmäßig zu klopfen, empfindet man es direkt an verschiedenen Stellen, z. B. in der Herzgegend, in den Schläfen usw., und diese anormalen Empfindungen verstärken ihrerseits die innere Unruhe, die sie hervorrufen. Ähnliche oder entgegengesetzte Wirkungen führen die verschiedenen Modifikationen des Atems, die vasomotorischen Veränderungen usw. herbei. Nun kommen

---

[1]) Sollier: Le mécanisme des émotions. Paris 1905. S. 187.

aber analoge Störungen auch während indifferenter psychischer Arbeit vor, ohne daß unsere Gemütsruhe dadurch gestört wird. In solchen Fällen sind wir aber von den uns beschäftigenden Vorstellungen dermaßen in Anspruch genommen, daß das Ich aus dem Bewußtsein fast verdrängt wird, und eben deshalb sind die Veränderungen des körperlichen Ich kaum merklich. Und lenkt man, um des Beobachtens willen, die Aufmerksamkeit auf die körperlichen Empfindungen, so stockt die Arbeit, und damit geht der organische Zustand sehr schnell auf die Norm zurück. Im Affekt dagegen, der unserer Auffassung zufolge auf einer merklichen Veränderung des Ich beruht, ist die Aufmerksamkeit vom Anfang an auf das Ich gerichtet, und die Modifikationen desselben treten daher besonders deutlich im Bewußtsein hervor.

In einem wesentlichen Punkte weicht die hier vertretene Ansicht von der von Sollier behaupteten ab[1]). Was er „l'émotivité“ nennt, die Tendenz eines psychophysiologischen Vorganges, sich im Gehirn unregelmäßig fortzupflanzen und Störungen hervorzurufen, ist nur ein unbestimmter Ausdruck für die Tatsache, die ich als eine „merkliche Veränderung des Ich“ präzisiert habe. Der psychophysiologische Vorgang, der einem Gefühl entspricht, kann sich sehr wohl im Gehirn fortpflanzen und andere betonte Vorstellungen reproduzieren, ohne daß ein Affekt resultiert. Nur wenn irgendein wesentlicher der mannigfachen Vorgänge, die insgesamt das Ich konstituieren, gehemmt und umgestaltet wird, muß hieraus die Erschütterung des ganzen Komplexes resultieren, welche wir als Gemütsbewegung erleben. Es ist dies kein Vorgang besonderer Art; etwas ganz Analoges findet statt, wenn eine beliebige komplizierte Vorstellung durch neue Erfahrungen in irgendeinem Punkte verändert wird, und die unbestimmte „Emotivität“ Solliers ist durchaus kein treffender Ausdruck hierfür.

Viele Forscher, die übrigens Gegner der James-Langeschen Theorie sind, messen ihr eine relative Gültigkeit als Erklärung der Stimmungen bei. Die Versuche zeigen, daß die körperlichen Begleiterscheinungen einer Gemütsbewegung den eigentlichen Affektausbruch überdauern. Solange die Stimmung subjektiv empfunden wird, läßt sich der anormale physiologische Zustand auch fast immer konstatieren[2]). Da man

[1]) A. a. O. S. 46 u. f.

[2]) Lehmann: Körperliche Äußerungen, I. Teil, S. 120.

während der Stimmung keine bestimmten betonten Vorstellungen im Bewußtsein findet, die im Kausalverhältnis zum Gemütszustand stehen, liegt es nahe, die veränderten Organempfindungen als den Inhalt der Stimmung anzusehen. Diese Auffassung scheint mir jedoch nicht völlig befriedigend. Aus meinen Versuchen geht nämlich hervor, daß eine beliebige indifferente oder betonte Tätigkeit von kürzerer oder längerer Dauer die körperlichen Äußerungen der Stimmung aufheben kann, und sobald diese Tätigkeit wieder aufhört, tritt die Stimmung mit allen physiologischen Merkmalen wieder hervor[1]. Es ist aber nicht leicht, einzusehen, wie das Herz, die Gefäße und die Atmung von selbst diesen Rückschlag zustande bringen können; nur eine zentrale Ursache, die durch die dazwischen tretende Tätigkeit nicht beseitigt wird, kann den früheren körperlichen Zustand wieder hervorrufen. Nach meiner Auffassung sind wir daher genötigt, anzunehmen, daß *die Stimmung wie die Gemütsbewegung auf einem zentralen Vorgang, einer Veränderung des Ich, beruht, welcher die körperlichen Begleiterscheinungen als zweckmäßige Reaktionen reflektorisch auslöst.* Die hierdurch veränderten Organempfindungen bilden zwar ein wesentliches Moment der Stimmung, da das Ich aber nicht ausschließlich körperliches Ich ist, werden meistens andere Veränderungen des Ich mitwirken. *Affekt und Stimmung unterscheiden sich dann nur dadurch, daß die Ursache des Zustandes, das den ganzen Vorgang einleitende Gefühl, im Affekte noch besteht, in der Stimmung aber dem Bewußtsein entschwunden ist.*

V. Der Wille.

Achtundachtzigstes Kapitel.

Die Willenshandlung.

Der Wille ist ein der Vermögenspsychologie entlehnter Ausdruck, der fortwährend nicht nur in der landläufigen, sondern auch in der wissenschaftlichen Psychologie spukt und ohne Notwendigkeit Metaphysik in die Psychologie hineinführt. In der Vulgärpsychologie bedeutet Wille das Vermögen, Handlungen, Bewegungen willkürlich auszuführen; in der wissenschaftlichen Psychologie ist die Bedeutung etwas weiter.

[1] A. a. O. S. 150.

Nachdem es nämlich als festgestellt angesehen werden kann, daß die Lenkung der Aufmerksamkeit auf das Bewegungserinnerungsbild die Innervation der betreffenden Muskeln auslöst, läßt sich in psychologischer Beziehung kein Unterschied zwischen einer willkürlichen Bewegung und anderen willkürlichen Tätigkeiten nachweisen. Es ist nur von der Richtung der Aufmerksamkeit abhängig, ob Vorstellungen reproduziert oder Bewegungen ausgelöst werden, und einen von der Aufmerksamkeit verschiedenen Willen braucht man daher nicht anzunehmen. Man unterscheidet dann zwischen inneren und äußeren Willenshandlungen, und ihre Natur ergibt sich aus der näheren Bestimmung der Aufmerksamkeit. Es kommt jedoch noch in unseren Tagen vor, daß die Aufmerksamkeit als ein „unklarer Begriff" verworfen [1]) und der Wille, mit der ganzen Mystik der Willkür behaftet, an ihre Stelle gesetzt wird [2]).

Im vorhergehenden wurden die Natur und die Wirkungen der Aufmerksamkeit so eingehend behandelt, daß der Begriff wohl jetzt nicht unklarer als irgendein anderer der Psychologie ist. Die verschiedenen Willenshandlungen, die inneren und äußeren willkürlichen Tätigkeiten, sind damit je an ihrer Stelle erörtert. Da aber besonders die willkürlichen Bewegungen wegen ihrer recht komplizierten Entwicklung an sehr verschiedenen Stellen behandelt worden sind, fassen wir hier um des Überblickes willen die Darstellung kurz zusammen.

Die Aufmerksamkeit ist die psychologische Bezeichnung der Tatsache, daß ein Beachtungsmotiv, die gefühlsbetonte Vorstellung von einem zu erreichenden Zwecke, den Gegenstand der Aufmerksamkeit, die Vorstellung von dem zum Ziele führenden Mittel, anbahnt, wodurch die letztere im Bewußtsein vorherrschend wird (S. 505—510). Die Beachtungsmotive sind die Interessen des Ich (505), d. h. die zu erreichenden Zwecke zielen auf eine Förderung des Ich ab, und indem sie also mit einer merklichen Veränderung des Ich einhergehen, sind sie mehr oder weniger ausgesprochene Affekte. Die sogenannte Lenkung der Aufmerksamkeit tritt daher als eine willkürliche Tätigkeit des Ich hervor, weil im Bewußtsein die Veränderung des Ich stets als die Ursache der Tätigkeit hervortritt (S. 675). Wenn durch das Beachtungsmotiv der Gegenstand der Auf-

---

[1]) Ach: Willensakt und Temperament. Leipzig 1910. S. 238.
[2]) Ach, a. a. O. S. 4 und 240.

merksamkeit angebahnt wird, werden gleichzeitig alle anderen Bewußtseinszustände gehemmt (S. 494). In diesen Sätzen ist die physiologische Erklärung aller inneren und äußeren Willenshandlungen gegeben.

Eine willkürliche Bewegung kommt auf die Weise zustande, daß die Aufmerksamkeit ausschließlich auf die betreffende Bewegungsvorstellung gelenkt wird, woraus folgt, daß nur solche Muskelgruppen willkürlich in Bewegung versetzt werden können, die schon vorher auf irgendeine Weise in Bewegung geraten sind, so daß die Empfindungen dieser Bewegungen erregt worden sind (S. 581). Die impulsiv, reflektorisch oder instinktiv entstandenen Bewegungen des Kindes bilden daher die Anfänge der Willenshandlung (S. 580). Aus diesen Bewegungen entstehen Triebe und Gewohnheiten, wenn sie wiederholentlich zum Festhalten eines Lustgefühls oder zur Aufhebung eines Unlustgefühls führen. Es assoziieren sich dann sowohl die Vorstellung vom vermittelnden Objekt als die kinästhetischen Empfindungen mit dem betreffenden Gefühlszustande, der mithin von einem Streben, einer Tendenz zur Ausführung der Bewegung begleitet sein wird, und bei genügender Festigkeit der Assoziation kann das Gefühl unter bestimmten Umständen die Bewegung auslösen (S. 477—478). Die Instinkte sind konstante Triebe, die für die Erhaltung des Individuums oder der Art von solcher Bedeutung sind, daß jedes Individuum mit erblichen Dispositionen zur Ausführung der betreffenden Bewegungen geboren wird und daher unter bestimmten Umständen dieselben sofort mit erheblicher Sicherheit ausführen kann (S. 479—482). Anfangs ist der Zweck des Instinktes dem Individuum unbekannt; dies wird aber nicht mehr der Fall sein, wenn der Instinkt einigemal tätig gewesen ist, und dann besteht kein Unterschied zwischen dem angeborenen Instinkt und dem erworbenen Triebe.

Instinkte und Triebe gehen in willkürliche Handlungen über, wenn die erforderlichen Bewegungen im gegebenen Falle nicht zustande kommen können. Das Ziel wird dann nicht erreicht, das Gefühl unbefriedigt, und es bleibt daher als Beachtungsmotiv bestehen, das zu wiederholten Versuchen und schließlich zum Ziele führt. Der hungrige Säugling, der noch nicht seiner Bewegungen Herr ist, kann das vor ihm liegende Brot nicht ergreifen, und er macht daher immer erneuerte Versuche, bis er seinen Zweck erreicht oder der Anstrengung müde wird (S. 580—582). Wenn relativ ein-

fache Bewegungen so eingeübt worden sind, daß das Beachtungsmotiv die Bewegungsvorstellung und damit zugleich die Bewegung hervorrufen kann, wird es ferner möglich, die Bewegungen mit bestimmten Wahrnehmungen zu verknüpfen, wonach die letzteren die ersteren reproduzieren können. Anfangs ist diese Reproduktion recht umständlich, indem sie nur durch verschiedene Mittelglieder erhalten wird; durch fortgesetzte Übung können die Mittelglieder aber ausgeschaltet werden, so daß die Bewegung immer schneller und sicherer ausgelöst wird (S. 582—588). Aus einfachen Bewegungen können, ebenfalls durch Übung, kompliziertere kombiniert werden, so daß verschiedene gleichzeitige Bewegungen aneinandergereiht und in bestimmten Momenten ausgelöst werden (S. 608). Von allen, selbst den kompliziertesten motorischen Verknüpfungen und Koordinationen gilt es, daß sie schließlich durch fortgesetzte Übung einen instinktiven Charakter erhalten. Wie die willkürlichen Bewegungen aus den unwillkürlichen hervorgehen, werden sie schließlich wieder unwillkürlich.

Besondere Verhältnisse treten ein, wenn gleichzeitig mehrere, sich gegenseitig ausschließende Möglichkeiten zum Erreichen eines vorliegenden Zweckes sich darbieten, was im entwickelten menschlichen Bewußtsein nicht gar zu selten der Fall sein wird. Eine Handlung ist dann vorläufig unmöglich; es muß zuerst eine Wahl getroffen werden. Das Wählen ist aber ein Denkakt, die *Überlegung*, wodurch man sich die wahrscheinlichen Konsequenzen der verschiedenen Möglichkeiten vor Augen führt. Einige dieser Vorstellungen sind lustbetont, andere unlustbetont, und je nach der Weise, wie das Ich sich von diesen Vorstellungen beeinflußt fühlt, wird die eine oder die andere Handlung vorgezogen. Die siegende Gemütsbewegung, die durchaus nicht die größte Intensität des Gefühls zu haben braucht (S. 508), hemmt die übrigen Vorstellungen und bestimmt als Beachtungsmotiv die auszuführende Handlung. Es ist dann der *Entschluß* gefaßt, der auch als *Vorsatz* bezeichnet wird, wenn er der äußeren Verhältnisse wegen nicht augenblicklich zur Ausführung kommen kann. Treten später die nötigen Bedingungen ein, kann der Vorsatz realisiert werden, wenn er noch eine solche Stärke besizt, daß die Vorstellung von der Handlung alleinherrschend wird, indem alle anderen Vorstellungen gehemmt werden. Das aktuelle Moment des Wollens, der eigentliche Willensakt, beruht ein-

fach auf der völligen Beseitigung aller Vorstellungen außer derjenigen der Handlung, was sich ohne Schwierigkeit beobachten läßt, wenn es sich um die Ausführung einer einfachen Muskelbewegung handelt. Solange man die Empfindung der Lage des Gliedes neben der Bewegungsvorstellung festhält, geschieht nichts; in dem Moment aber, wo die Lageempfindung gehemmt wird, tritt die Bewegung ein (S. 496). Je komplizierter aber die auszuführende Handlung ist, um so mannigfacher sind die vorhergehenden Einstellungen, und um so schwieriger wird es, die im Momente des Handelns stattfindenden Veränderungen des Bewußtseins zu bestimmen. Hierauf beruht es wahrscheinlich, daß man oft den Willensakt, das „Ich will“, als etwas von allen anderen Bewußtseinszuständen Abweichendes aufgefaßt hat.

Neunundachtzigstes Kapitel.

Temperament und Charakter.

Das Beachtungsmotiv, der zu erreichende Zweck, determiniert in jeder gegebenen Situation die Handlung. Was aber unter bestimmten Umständen das Beachtungsmotiv eines Menschen sein wird, ist sowohl von erblichen Anlagen als von seiner ganzen vorhergehenden Entwicklung abhängig, und es ist daher unmöglich, wie genau man denn auch einen Menschen kennt, im voraus mit Sicherheit zu sagen, was er im gegebenen Falle tun wird. Nichtsdestoweniger sind die Handlungen jedes Menschen durch gewisse konstante Eigentümlichkeiten teilweise bestimmt, so daß man, wenn man ihn kennt, innerhalb gewisser Grenzen sein mutmaßliches Benehmen wird angeben können. Natürlich kommt es oft vor, daß unsere Erwartungen getäuscht werden, aber schon der Umstand, daß eine Handlung „einem Menschen nicht ähnlich sieht“, beweist augenscheinlich, daß eine unverkennbare Konstanz sonst seine Handlungen prägt, und daß die betreffende dem Anscheine nach hiermit nicht übereinstimmt. Und nicht nur, *was* eine Person tut, sondern auch, *wie* sie es tut, ist zu einem gewissen Grade konstant. Die Ursache der konstanten Reaktionsweise nennt man das *Temperament*, die Ursache der Konstanz der Handlungen den *Charakter*.

Das Temperament, das oft schon in der Kindheit merklich wird, beruht wahrscheinlich auf körperlichen Eigentümlich-

keiten. Wir kennen aber noch gar nicht die zugrunde liegenden Verhältnisse, und eine rationelle Einteilung der Temperamente ist daher vorläufig unmöglich. Man hat zwar verschiedene symptomatische Einteilungen versucht, keine derselben hat aber allgemeine Anerkennung gefunden. Nur in betreff der schon im Altertum aufgestellten vier Temperamente scheint insofern Einigkeit zu herrschen, als es angenommen wird, daß sie auf Gegensätzen der Gefühlsstärke und der Schnelligkeit des Gefühlswechsels beruhen[1]. Die Gefühle des *Sanguinikers* sind schwach und schnell wechselnd, die des *Phlegmatikers* schwach und langsam wechselnd. Der *Choleriker* hat starke und schnell wechselnde, der *Melancholiker* starke und langsam wechselnde Gefühle. Es läßt sich kaum bezweifeln, daß wesentliche Unterschiede der Reaktionsweise hierdurch bestimmt sind. Die Anzahl der möglichen Typen wird aber viel größer, indem erstens die Temperamente selten ungemischt zu beobachten sind und zweitens andere Momente hinzutreten, wodurch die Verhältnisse noch komplizierter werden. Man kann z. B. im täglichen Leben leicht bemerken, wie das Vorherrschen von Lust- oder Unlustgefühlen für die Reaktionsweise nicht weniger bedeutungsvoll wird, und kombiniert man dieses Moment mit den beiden anderen, resultieren acht verschiedene Temperamente[2]. Hätten wir nur einige gut gewählte Namen für die auf diese Weise entstandenen neuen Typen, würde die herkömmliche Temperamentslehre eine wünschenswerte Erweiterung erhalten haben.

Dem Charakter zugrunde liegen wohl auch immer erbliche Anlagen, in der Hauptsache ist er aber ein Resultat der Entwicklung, indem ein individueller Charakter beim Kinde kaum vorkommt. Dies ist denn auch leicht erklärlich. Eine konstante Art des Handelns erfordert vorherrschende Interessen, wodurch die Beachtungsmotive bestimmt sind; solche Interessen setzen aber eine größere Entwicklung voraus. Man unterscheidet zwischen *festen* und *schwachen* Charakteren, je nachdem die Handlungen eines Menschen das Gepräge tragen, von konstanten Interessen oder von augenblicklichen Stimmungen abhängig zu sein. Ferner spricht man von *unangenehmen* oder *liebenswürdigen* Charakteren. Die ersteren sind diejenigen, die hauptsächlich egoistische Tendenzen befolgen, während die

---

[1] Huther: Allgemeine Charakterologie. Leipzig 1910. S. 5 u. f.
[2] Höffding: Psykologi. Kopenhagen 1911. S. 436.

letzteren mehr altruistischen Neigungen nachgeben. Die beiden Einteilungen können miteinander kombiniert werden, so daß vier wesentlich verschiedene Richtungen des Charakters entstehen. Im praktischen Leben ist es übrigens von großer Bedeutung, ob der Entschluß sofort zur Handlung führt, oder ob die Handlung auf einen geeigneten Zeitpunkt, der dann meistens nie kommt, aufgeschoben wird. Es entsteht hierdurch ein Gegensatz zwischen *energischen* und *trägen* Charakteren, und diese Formen kommen auch in allen Kombinationen mit den schon erwähnten vier vor. Ferner kann der Charakter ein Sondergepräge dadurch erhalten, daß irgendeine Leidenschaft, d. h. eine konstante Affekttendenz, sich stark geltend macht. Es gibt z. B. eitle, ehrgeizige, eifersüchtige, habsüchtige, herrschgierige, stolze, zärtliche usw. Charaktere.

Selbstverständlich gilt in betreff des Charakters auch das schon vom Temperament Gesagte, daß solche Einteilungen nur sehr dürftige Versuche sind, über den großen Reichtum des Lebens einen Überblick zu gewinnen. An eine befriedigende Lösung dieser Aufgabe ist aber vorläufig gar nicht zu denken; die Bestimmung der fundamentalen individuellen Differenzen wird wohl das letzte und schwierigste Problem der Psychologie sein.

Sachregister.

